

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Návrh a optimalizace miniaturního napájecího zdroje
pro slaboproudé aplikace

Design and Optimization of Miniature Power Supply
for Low Voltage Applications

2017

Jiří Peterek

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Peterek**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2612R041 Řídicí a informační systémy
Téma: **Návrh a optimalizace miniaturního napájecího zdroje pro slaboproudé aplikace**
Design and Otimization of Miniature Power Supply for Low Voltage Applications
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: Navrhnout miniaturní zdroj pro úpravu vstupního napětí z hladiny napětí 230 V střídavých na jednotky voltů stejnosměrných. Předpokládaný odběr je v desítkách mA a je požadován zanedbatelný ztrátový výkon naprázdno.

1. Provedení rozboru vlastností variant miniaturních napájecích zdrojů.
2. Návrh optimální varianty zdroje.
3. Realizace navrženého zdroje.
4. Proměření parametrů sestaveného zdroje a porovnání s jinými modely.
5. Zhodnocení dosažených výsledků závěrečné práce.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje*. 3. vyd. Praha: BEN - technická literatura, c1996-2011, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-7300-294-7.
[2] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Spínané zdroje s časovačem 555*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999, 127 s. ISBN 80-86056-76-7.
[3] BASSO, Christophe P. *Switch-mode power supplies: SPICE simulations and practical designs*. New York: McGraw-Hill, c2008, xix, 889 s. ISBN 978-0-07-150859-9.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Richard Velička, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 28.04.2017


doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne28.4.2017.....

Podpis autora.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Richard Velička, Ph.D. za odbornou konzultaci a pomoc při zpracování mé bakalářské práce.

V Ostravě dne28.4.2017.....

Podpis autora.....

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá rozbořem nízko odběrových napájecích zdrojů, které jsou schopné transformovat střídavé napětí 230 V na stejnosměrné napětí v řádu voltů až desítek voltů. Je potřeba vybrat variantu, která má zanedbatelný odběr naprázdno a co nejmenší rozměry. Nejlepší varianta je realizována, proměřena a výsledky jsou porovnány s našimi požadovanými parametry.

Klíčová slova

Síťový zdroj, nízko napět'ový, malé rozměry, dvě napětí, nízko odběrový.

Abstract

Thesis deals with the analysis of sampling low-power resources that are able to transform 230 V AC into DC voltage on the order of volts to tens of volts. It needs to select the option that is the smallest and has a minimum no-load consumption. The best option is implemented, the measured and the results are compared with our required parameters.

Key words

AC power, low voltage, small size, two voltages, low-power.

Obsah

Úvod.....	6
Seznam použitých symbolů a zkratk	7
Seznam ilustrací	8
Seznam tabulek.....	9
1 Teorie možností převodu střídavého napětí na stejnosměrné.....	10
1.1 Galvanicky neoddělená zapojení.....	10
1.1.1 Lineární snižování napětí (bez indukčnosti).....	10
1.1.2 Zapojení využívající nízkého napětí v síti (bez indukčnosti).....	11
1.1.3 Snižující měnič napětí (s indukčností)	12
1.2 Galvanicky oddělená zapojení	12
1.2.1 Transformátorový převod napětí.....	13
1.2.2 Spínané zdroje s transformátorem.....	13
2 Určení parametrů zdroje.....	15
2.1 Výběr variant zapojení	16
2.1.1 Spínaný zdroj s obvodem MP157 (galvanicky neoddělen).....	16
2.1.2 Spínaný zdroj s obvodem LNK304 (galvanicky neoddělen)	18
2.1.3 Zapojení využívající nízkého napětí v síti s obvodem SR086 (galvanicky neoddělen)	19
2.2 Porovnání a výběr zapojení	21
3 Realizace vybraného zdroje SR086	22
4 Postup měření zapojení s obvodem SR086	24
5 Rozšiřující řešení snížení spotřeby naprázdno.....	27
5.1.1 Lineární stabilizátor s obvodem LR8	28
5.1.2 Návrh připojení hlavního zdroje	30
5.1.3 Spojení hlavního a nízko odběrového zdroje	31
5.1.4 Testování zapojení.....	33
5.1.5 Měření zapojení s obvodem LR8 a SR086.....	34
6 Zhodnocení výsledků zapojení.....	35
6.1 Zhodnocení zapojení s obvodem SR086.....	36
6.2 Cenová bilance zapojení zapojení obvodu SR086	36
6.3 Zhodnocení zapojení s kombinací obvodu LR8 a SR086	37
7 Závěr	39
8 Seznam použité literatury	40
9 Seznam příloh.....	I

Úvod

Práce se zabývá návrhem napájecího zdroje, který ze síťového napětí 230 V / 50 Hz odebírá zanedbatelný výkon naprázdno.

Ve většině případů je potřeba, aby zdroj dodával alespoň dvě napětí. Výstup napájecího zdroje je zvoleno na 3,3 V pro napájení μ P a druhé napětí je 12 V pro spínání relé.

Dalším kritériem je velikost. Pro možnost implementace do stávajících zařízení, přidání do montážních krabic a podobně. Je potřeba, s ohledem na úsporu místa, zdroj navrhnout co možná nejmenší. Nejrozměrnější součástky tvoří transformátory, indukčnosti a kondenzátory.

Velké množství elektrických zařízení napájených ze síťového napětí i přesto, že jsou zdánlivě vypnuté, tak odebírají elektrický proud. Proto je cílem práce navrhnout zařízení s co nejnižší spotřebou naprázdno. Tento ne zcela vypnutý stav je označován názvem standby. Tyto odběry elektrické energie se navyšují s každým dalším zařízením. Tento problém je znám a za pomoci Evropské unie zaveden do směrnice, která je platná od ledna roku 2013 pro země EU a určuje odběr ve standby režimu do 0,5 W a 1 W pro zařízení s displejem. [15]

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Význam	Jednotka
$3D$	trojdimenzionální	
ADJ	pin pro změnu výstupního napětí (Adjustment)	
C	kapacita	(F)
C_{SER}	sériová kombinace kondenzátorů	(F)
ČSN	Česká státní norma	
D	dioda	
DM	diodový můstek	
DPS	deska plošného spoje	
EMI	elektromagnetické rušení (Electromagnetic Interference)	
F	pojistka	
FB	zpětná vazba (FeedBack)	
FR4	materiál pro desky plošných spojů	
I	proud	(A)
I_{ADJ}	proud pinem ADJ	(A)
IC	integrováný obvod	
I_{DEL}	proud děličem	(A)
IGBT	bipolární tranzistor s izolovaným hradlem (Insulated Gate Bipolar Transistor)	
I_{VYST}	výstupní proud	(A)
L	indukčnost	(H)
N-MOS	unipolární tranzistor řízený polem s kanálem typu N	
<i>Obr.</i>	obrázek	
P_{DEL}	ztráty na dělič děličů napětí	(W)
P-MOS	unipolární tranzistor řízený polem s kanálem typu P	
P_{VST}	vstupní činný výkon	(W)
R	rezistor	(Ω)
R_{DEL}	součet hodnot rezistorů děliče	(Ω)
RV	varistor	
Q	jalový výkon	(var)
<i>SLEEP</i>	režim nízké spotřeby μP	
SMD	součástka určena pro povrchovou montáž (Surface Mounted Device)	
SMT	technologie povrchové montáže (Surface Mounted Technology)	
T	tranzistor	
<i>Tab.</i>	tabulka	
THT	technologie vývodové montáže (Through Hole Technology)	
TR	transformátor	
U_S	napětí sepnutí	(V)
$U_{\dot{s},\dot{s}}$	zvlnění napětí	(V)
U_{USM}	usměrněné napětí	(V)
UV LED	ultrafialová elektroluminiscenční dioda	
U_{VST}	vstupní napětí	(V)
U_{VYST}	výstupní napětí	(V)
VŠB-TUO	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava	
S	zdánlivý výkon	(VA)
μP	mikroprocesor	
η	účinnost	
$\cos \varphi$	účinník	($^\circ$)
f_{USM}	frekvence usměrněného napětí	(Hz)
t_{USM}	perioda usměrněného napětí	(s)

Seznam ilustrací

<i>Obr. 1 – Lineární snižování napětí – zenerova dioda</i>	<i>10</i>
<i>Obr. 2 – Využití nízkého napětí v síti – napěťový průběh a sepnutí [11]</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 3 – Využití nízkého napětí v síti</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 4 – Spínaný zdroj</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 5 – Planární technologie [4]</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 6 – Základní zapojení s transformátorem a lineárním stabilizátorem</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 7 – Blokové schéma spínaného zdroje [10]</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 8 – Montážní krabice KU68</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 9 – THT pájený spoj</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 10 – Zapojení obvodu MP157 [5]</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 11 – Změna montážní výšky pomocí orientace naležato</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 12 – Základní zapojení obvodu řady LNK304</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 13 – Zapojení s obvodem SR086</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 14 – Zapojení s obvodem SR086 – Úprava s tantalovými kondenzátory</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 15 – Schéma měřeného obvodu s obvodem SR086</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 16 – Zatěžovací charakteristika 3,3V větve a nezatížena 12V větev</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 17 – Zatěžovací charakteristika 12V větve a nezatížena 3,3V větev</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 18 – Zatěžovací charakteristika 3,3V a 12V větve</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 20 – Blokový návrh možného řešení snížení spotřeby</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 20 – Zapojení s lineárním stabilizátorem LR8</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 21 – Zapojení pro odepnutí a připnutí hlavního zdroje SR086 pomocí μP</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 22 – Oddělení nízko odběrového zdroje</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 23 – Odpojení nízko odběrového zdroje</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 24 – Spojení hlavního a nízko odběrového zdroje</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 25 – Vývojový diagram testovacího programu pro PIC12F675</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 26 – Osazená DPS s obvodem SR086</i>	<i>37</i>

Seznam tabulek

<i>Tab. 1 – Porovnání parametrů relé.....</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 2 – Porovnání vývodové montáže THT a SMT [16] a [17].....</i>	<i>17</i>
<i>Tab. 3 – Parametry cívky L_2.....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 4 – Parametry cívky</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 5 – Parametry zvoleného tantalového kondenzátoru.....</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 6 – Porovnání parametrů zvolených zdrojů.....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 7 – Volba rezistorů děliče pro výstupní napětí 12 V.....</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 8 – Měření naprázdno s obvodem SR086.....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 9 – Porovnání naměřených výsledků</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 10 – Hodnoty rozpětí napájecího napětí sítě.....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 11 – Parametry zvoleného kondenzátoru C_1.....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 12 – Změna napětí na děliči.....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 13 – Parametry tranzistoru T_1</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 14 – Parametry tranzistoru T_2</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 15 – Parametry diody D_1.....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 16 – Odběr naprázdno v režimu SLEEP</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 17 – Odběr při zapnutém μP.....</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 18 – Připnutí primárního zdroje</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 19 – Porovnání parametrů zdroje s obvodem SR086 s parametry výrobce.....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 20 – Porovnání zapojení z ohledu spotřeby elektrické energie.....</i>	<i>37</i>

1 Teorie možností převodu střídavého napětí na stejnosměrné

Záměrně je použito slovo převod na místo transformace, jelikož existují varianty zdrojů, které nevyužívají k převodu transformátor. Nevýhodou těchto bez transformátorových zapojení je, že nejsou galvanicky oddělené od sítě a není možné je z bezpečnostního hlediska propojit dále se zařízeními oddělenými a není možno je spojit se zemnicím vodičem. Jejich použití z těchto důvodů není zcela univerzální.

V následujících kapitolách jsou rozebrány základní možnosti převodu a transformace napětí, které se týkají této práce.

U zapojení, která mají spínací prvek (spínané zdroje) se musí dle norem eliminovat zpětné rušení do sítě nazývané zkratkou EMI (Electromagnetic interference).

1.1 Galvanicky neoddělená zapojení

Galvanicky neoddělená zapojení můžeme rozdělit na zapojení s indukčností a bez indukčnosti.

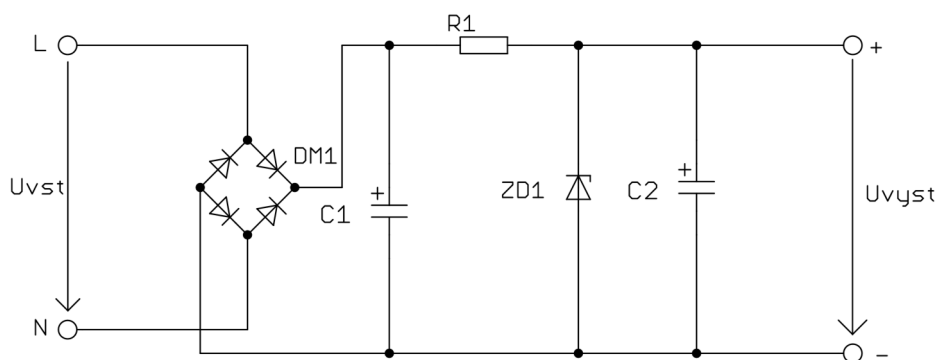
1.1.1 Lineární snižování napětí (bez indukčnosti)

Síťové napětí je usměrněno a poté pomocí parametrického nebo lineárního stabilizátoru převedeno na požadované nižší napětí.

Za základní možnost snížení lze brát napěťový dělič, který ovšem postrádá stabilizační účinky. Za běžný parametrický stabilizátor je možné považovat zenerovu diodu, popřípadě obyčejnou diodu. Pro lepší stabilizační účinky se využívají integrovaná řešení jako jsou tři svorkové lineární stabilizátory řady 78xx, které jsou běžně použitelné do vstupního napětí v řádu desítek voltů. Existují však i výrobci, kteří vyrábějí tři svorkové stabilizátory i pro vstupní napětí 700 V.

Účinnost těchto zapojení není nijak vysoká a s rostoucím příkonem na výstupu klesá až k nule. [3]

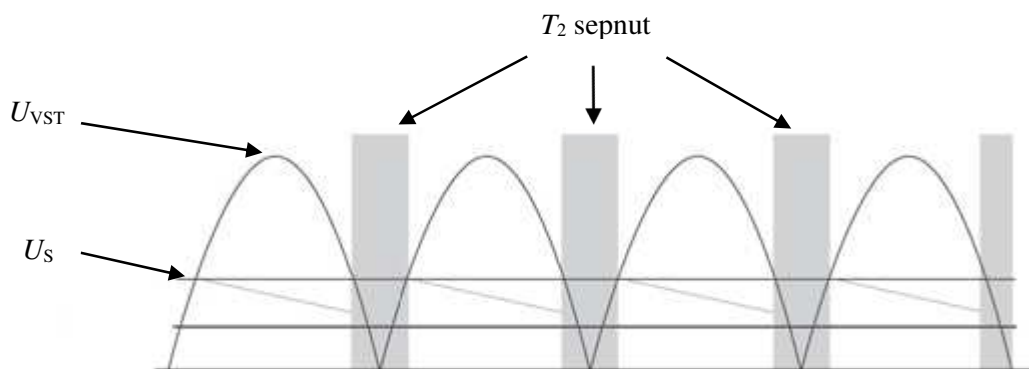
Na Obr. 1 je zobrazeno základní schéma pro použití se zenerovou diodou. Síťové napětí je usměrněno diodovým můstkem DM_1 a filtrováno pomocí kondenzátoru C_1 . Poté pomocí zapojení R_1 a ZD_1 je napětí sníženo na požadované napětí a filtrováno pomocí C_2 . [3]



Obr. 1 – Lineární snižování napětí – zenerova dioda

1.1.2 Zapojení využívající nízkého napětí v síti (bez indukčnosti)

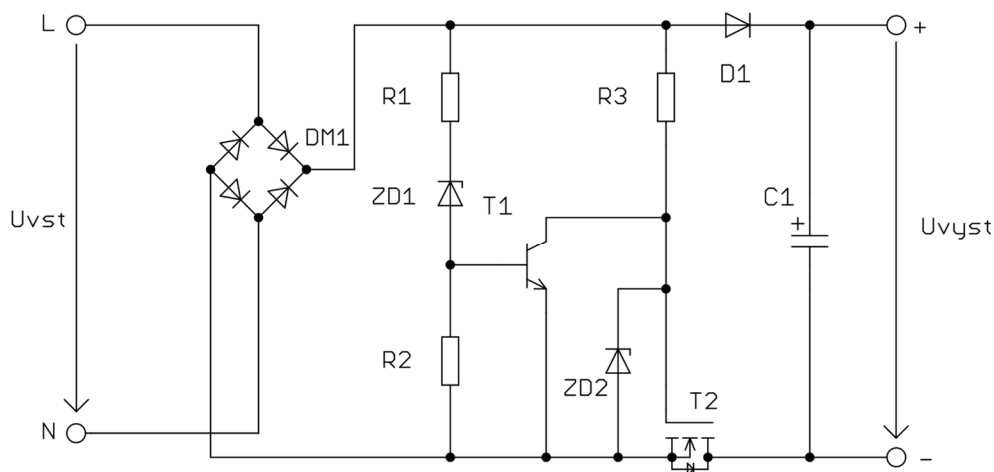
Princip si lze představit podle Obr. 2 a Obr. 3. U_{VST} je síťové napětí, které klesá do bodu U_S , kdy dochází k sepnutí tranzistoru T_2 , až do doby vystoupaní napětí do hodnoty napětí U_S , kde dojde k rozepnutí T_2 . [12]



Obr. 2 – Využití nízkého napětí v síti – napěťový průběh a sepnutí [12]

Zapojení, které je na Obr. 3, pracuje na principu sepnutí tranzistoru T_2 pouze v době, kdy je napětí v síti nižší než nastavená hodnota výstupní. V této době se nabíjí kondenzátor C_1 . Aby nedocházelo k jeho zpětnému vybíjení je v zapojení dioda D_1 , která zabrání zpětnému vybíjení do obvodu. [12]

Tranzistor T_1 je otevřen při hodnotě nad nastavené výstupní napětí, které určuje zenerova dioda ZD_1 . Při otevření T_1 dojde k připojení gate T_2 na nulový potenciál a tranzistor T_2 je uzavřen až do doby, než bude T_1 opět rozpojen. Rezistor R_2 přidržuje T_1 rozpojený, až do doby, kdy vstupní napětí U_{VST} překročí zenerovo napětí D_1 a přes rezistor R_1 začne protékat proud a stejně tak přes R_2 , na kterém vzniká úbytek napětí a bázi tranzistor T_1 začíná protékat proud. Přes otevřený T_1 dojde k uzavření T_2 . Naopak rezistor R_3 udržuje T_2 otevřený a zenerova dioda ZD_2 chrání gate T_2 , aby napětí nepřekročilo dovolenou hodnotu. [12]



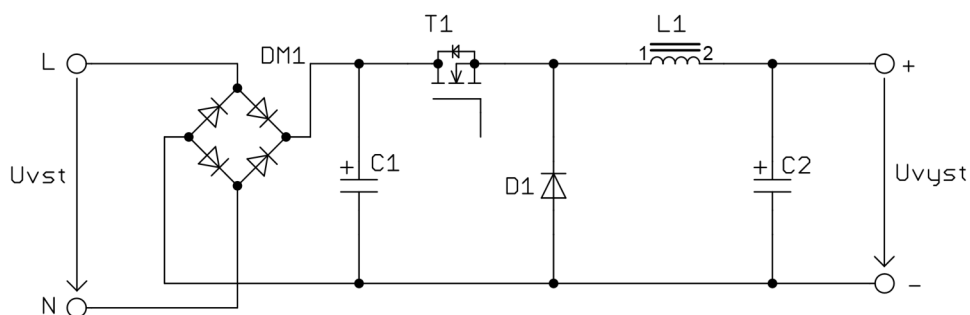
Obr. 3 – Využití nízkého napětí v síti

1.1.3 Snižující měnič napětí (s indukčností)

Zapojení, které je na Obr. 4, se označuje buck, popřípadě step down. Přičemž se jedná o nejzákladnějších zapojení snižování napětí s indukčností. Síťové napětí je usměrněno diodovým můstkem DM_1 a filtrováno pomocí kondenzátoru C_1 .

Tranzistor T_1 je řízen pomocí integrovaného regulačního obvodu (není zobrazen). Při sepnutí tranzistoru T_1 dojde k průchodu proudu na výstup a při rozpojení je proud udržován nasycením cívky L_1 , která za pomoci diody D_1 v obvodu udržuje průchod proudu, tím je udržováno napětí kondenzátoru C_1 . Spínáním T_1 dochází k efektu snížení napájecího napětí, jeho velikost je sledována integrovaným regulačním obvodem. [3]

Spínání se provádí s vysokou frekvencí, a tak napětí na C_2 má malé zvlnění a je tak potřeba i menších výstupních filtračních kondenzátorů. Na druhou stranu zdroje svým spínáním vytvářejí rušení, které ruší síťové napětí, popřípadě vysílají rušení přímo do okolí a toto rušení je třeba kompenzovat filtrem na vstupní části obvodu a rozmístěním součástek na DPS. [3]

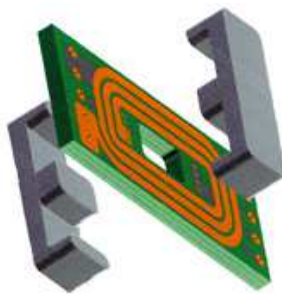


Obr. 4 – Spínaný zdroj

1.2 Galvanicky oddělená zapojení

Do této kategorie patří všechna zapojení, která využívají v zapojení transformátor pro převod napětí. Nevýhodou jsou značné rozměry transformátoru. Jednou z možností zmenšení transformátoru je využití spínaných zdrojů, u kterých je možné snížit velikost transformátoru z důvodu použití vyšších spínacích frekvencí. Používané frekvence jsou v řádu KHz až MHz. Tímto rostou nároky na transformátor a na spínací prvky. [2]

Dále se objevují možnosti realizovat tzv. 3D planární cívky a transformátory, které jsou vytvořeny na více vrstvé DPS, viz Obr. 5.



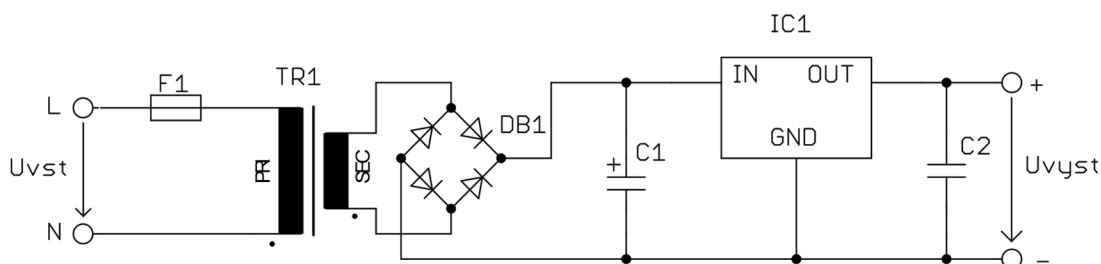
Obr. 5 – Planární technologie [5]

1.2.1 Transformátorový převod napětí

Výkonové řešení galvanického oddělení je transformátor. Výstupní napětí transformátoru je potřeba usměrnit a dále filtrovat.

Transformátor TR_1 na Obr. 6 transformuje napětí z primárního vinutí na sekundární v poměru závitů transformátoru. Nižší napětí na sekundárním vinutí je usměrněno pomocí diodového můstku TR_1 a dále pak filtrováno pomocí kondenzátoru C_1 .

Pro snížení zvlnění napětí za C_1 se dále využívají filtry anebo lineární stabilizátory. IC_1 stabilizuje napětí na předem určenou hladinu a snižuje zvlnění. Kondenzátor C_2 zajišťuje, aby se stabilizátor nerozkmital. [2]



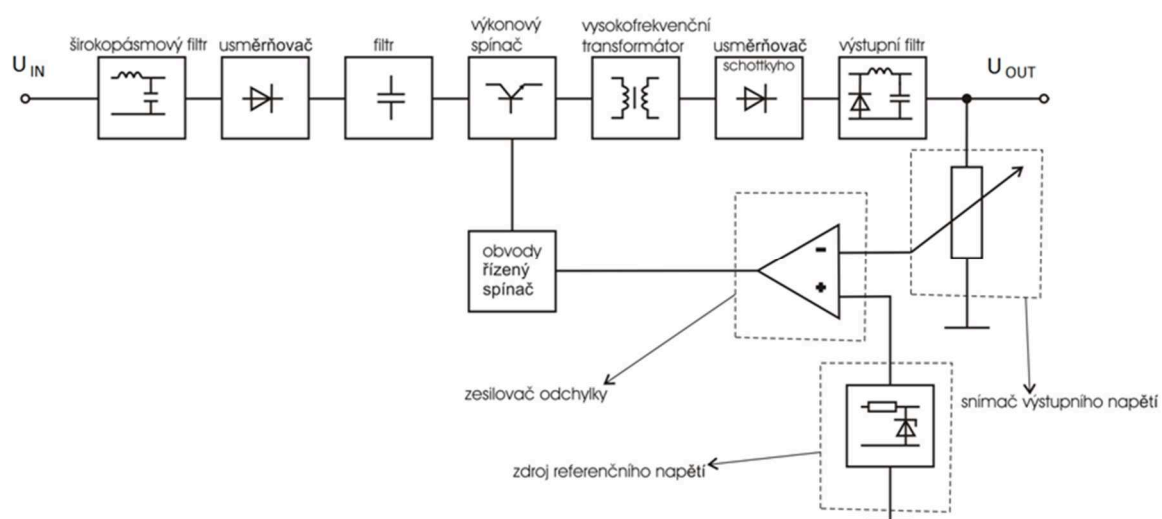
Obr. 6 – Základní zapojení s transformátorem a lineárním stabilizátorem

1.2.2 Spínané zdroje s transformátorem

Spínané zdroje mají své specifické blokové schéma, viz Obr. 7. Jedná se již o sofistikované zapojení.

Při popsání bloků zleva je jako první zapojen širokopásmový filtr, který slouží k eliminaci rušivých signálů. Tyto rušivé signály zdroj vytváří při spínání a ovlivňuje napájecí síť. Dalším blokem je usměrňovač, který usměrní střídavé vstupní napětí. Následujícím blokem je napětí vyfiltrováno.

Vyfiltrované napětí je možné spínat v jakoukoliv chvíli, a tak se používá PWM řízení spínání, které je zajištěno výkonovým spínacím prvkem a zpětnou vazbou, která sleduje odchylku výstupního napětí. Blok vysokofrekvenční transformátor zde vytváří galvanicky oddělené zapojení za pomoci spínání transformátoru s feritovým jádrem, které mu dává možnost být spínán vysokofrekvenčními pulzy běžně od desítek až po stovky KHz. Napětí za transformátorem je usměrněno a vyfiltrováno. Díky vysokým frekvencím spínání mohou tak být výstupní filtrační kondenzátory menší než u běžného transformátorového zapojení. [3]



Obr. 7 – Blokové schéma spínaného zdroje [10]

2 Určení parametrů zdroje

Požadavky na parametry zdroje:

1. 3.3 V pro napájení μP , požadovaný maximální proud $I_{3V3} = 30 \text{ mA}$.
2. 12 V pro napájení relé, požadovaný maximální proud $I_{12V} = 30 \text{ mA}$.
3. Co nejmenší rozměry.
4. Nízká spotřeba naprázdno.

Zdroj je velikostně optimalizován pro montážní krabici KU 68, viz Obr. 8. S rozměry $\varnothing 73 \times 42 \text{ mm}$.

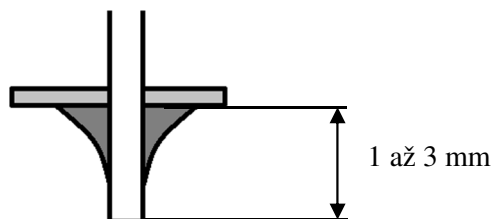


Obr. 8 – Montážní krabice KU68

Byl dán požadavek, aby byl zdroj navrhnut s co nejnižší montážní výškou a plochou DPS, která je omezena kruhovou velikostí krabičky.

Ideální se tak jeví technologie SMT, kdy jsou SMD součástky optimalizovány pro nižší montážní výšku, miniaturizaci, zlevňují a urychlují osazení DPS, která je tak osazována automatizovaným systémem do cínové pasty a přetavena v reflow peci.

THT montáž navíc přidá cca 1 až 3 mm na pájeném spoji, podle typu součástky. Viz Obr. 9.



Obr. 9 – THT pájený spoj

Při použití μP od firmy Microchip mikroprocesorů PIC jsou požadavky pro napájení dány pouze rozpětím napětí například od 2 V do 5,5 V (PIC12F675). Podle literatury je běžně dostačující zapojení s usměrněným napětím a stabilizováno pomocí integrovaného stabilizátoru. [4]

Pracovní napětí pro relé je většinou v širokém napětovém rozsahu, je zde požadavek na pokles a zvlnění napětí ještě méně náročný než pro μP . Porovnání tří relé v Tab. 1. Funkční napětí se většinou pohybuje v rozmezí 80 až 120 % z napájecího napětí.

C_2 se volí 3 μF na 1 W:

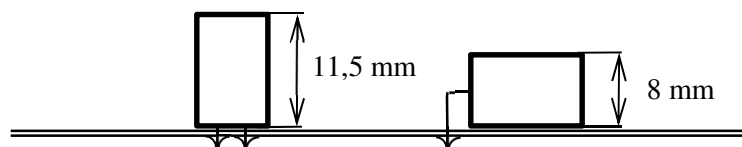
$$C_2 = 3 \cdot P_{\text{VYST}} = 3 \cdot 0,72 = 2,16 \mu\text{F} \quad (2.2)$$

Velikost C_2 je zaokrouhlena na vyráběnou řadu 2,2 μF .

Pro aplikaci je možné zvolit vyráběnou řadu 2,2 μF na 400 V, viz Tab. 2. Nejnižší vybraný kondenzátor pro SMT montáž je 10 mm. Pro vývodový THT kondenzátor 11,5 mm. Toto lze upravit zvolenou orientací naležato, kdy lze dosáhnout 8 mm. Viz Obr. 11.

Tab. 2 – Porovnání vývodové montáže THT a SMT [17] a [18]

Kondenzátor C_2	ULH2W2R2MNL1GS	Kondenzátor C_2	RD2G225M0811MBB
Typ kondenzátoru	elektrolytický	Typ kondenzátoru	elektrolytický
Montáž	SMT	Montáž	THT
Kapacita	2,2 μF	Kapacita	2,2 μF
Pracovní napětí	400 V	Pracovní napětí	400 V
Rozměry tělesa	$\varnothing 8 \times 10 \text{ mm}$	Rozměry tělesa	$\varnothing 8 \times 11,5 \text{ mm}$



Obr. 11 – Změna montážní výšky pomocí orientace naležato

Popřípadě pro snížení by se mohlo použít rozložení kapacit mezi dva kondenzátory, například $2 \times 1 \mu\text{F}$ THT s rozměry $\varnothing 8 \times 10 \text{ mm}$, ale rozměr pouzdra ve výsledné výšce nad DPS je stále 10 mm, oproti orientaci kondenzátoru naležato. Pro SMD variantu $2 \times 1 \mu\text{F} / 400 \text{ V}$ je rozměr $\varnothing 8 \times 10 \text{ mm}$, taktéž nedochází k žádnému vylepšení.

Volba indukčnosti L_2 :

Pro proud do 120 mA je možné zvolit L_2 řady RFB0807 s indukčností 680 μH , která má rozměry $\varnothing 8,8 \times 7,5 \text{ mm}$. Což je méně než montážní výška pro návrh kondenzátoru naležato, což je v pořádku.

Tab. 3 – Parametry cívky L_2

Indukčnost L_2	RFB0807-681L
Indukce	680 μH
Maximální stejnosměrný proud	0.44 A
Maximální stejnosměrný odpor	2.2 Ohm
Výška	7.5 mm
Průměr	8.8 mm

2.1.2 Spínaný zdroj s obvodem LNK304 (galvanicky neoddělen)

Příkon naprázdno: 200 mW

Výstupní proud: až 120 mA

Výstupní napětí nastavitelné: ANO

Účinnost: >75 %

Zvlnění při plném zatížení: $U_{\xi,\xi} = 120 \text{ mV}$

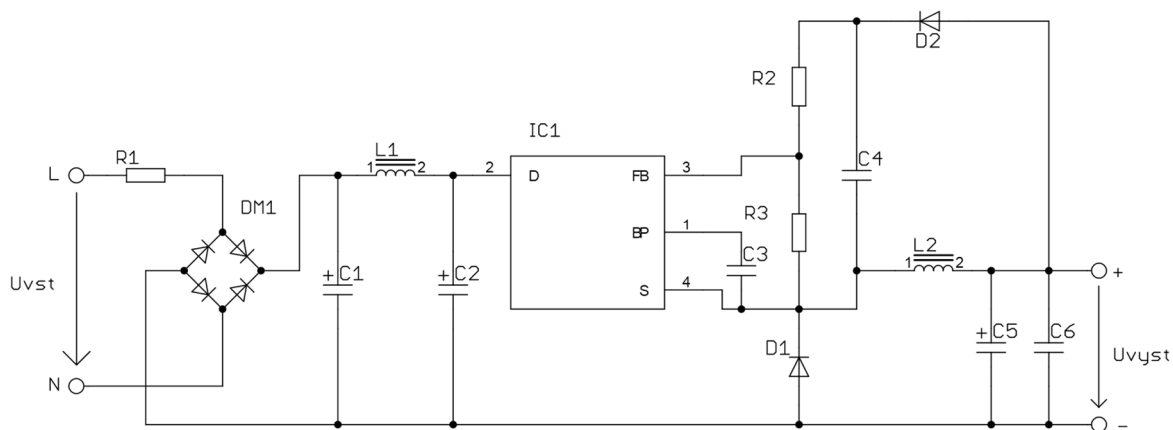
Z datasheetu DPS se podle výstupního proudu a napětí přímo volí výstupní indukce cívky a také přímo doporučen výrobce a přesný typ. Dále podle požadovaného výkonu na výstupu se volí velikost vstupního kondenzátoru. Druhé napětí 3,3 V zde musí být opět řešeno doplňujícím lineárním stabilizátorem. [10]

Pro výkon do 1 W se volí kondenzátor větší nebo rovný hodnotě 2 μF / 400 V. Požadavek na kondenzátor je zde tedy stejný jako u předchozího obvodu MP157. Montážní výška tak vychází při možnosti montáže na ležato 8 mm. [9]

Tlumivka je zvolena podle tabulky výrobce na hodnotu 680 μF , která odpovídá hodnotě výstupního napětí 12 V a proudu do 80 mA, parametry Tab. 4. [9]

Tab. 4 – Parametry cívky

Indukčnost L_2	SBC2-681-211
Indukce	680 μH
Maximální stejnosměrný proud	0.21 A
Maximální stejnosměrný odpor	3.1 Ohm
Výška	8 mm
Průměr	7 mm



Obr. 12 – Základní zapojení obvodu řady LNK304

2.1.3 Zapojení využívající nízkého napětí v síti s obvodem SR086 (galvanicky neoddělen)

Příkon naprázdno: 200 mW

Výstupní proud: až 100 mA

Výstupní napětí nastavitelné: ANO

Účinnost: >55 %

Zvlnění při plném zatížení: $U_{\xi-\xi} = 2 \text{ V}$

Zapojení využívá spínání usměrněného síťového napětí, a to v době kdy klesá a stoupa na předem určenou hodnotu výstupního napětí. Zapojení tak neobsahuje kondenzátor filtrující usměrněné napětí 230 V a tímto je obvod velikostně ve výhodě oproti ostatním zapojením. Ve chvíli kdy napětí roste od nuly, je tranzistor T_1 sepnut a nabíjí výstupní kondenzátor C_3 do předem určené výstupní hodnoty, viz Obr. 13. Takto se děje s frekvencí 100 Hz, která je určena dvoucestným usměrněním.

Uvnitř integrovaného obvodu je lineární stabilizátor, který z nastavitelného výstupního napětí U_{VYST} 9 až 50 V, stabilizuje napětí U_{3V3} na hodnotu 3,3 V, tato hodnota je dána výrobně. Také existuje varianta SR087, která má na výstupu lineárního stabilizátoru určeno napětí na 5 V.

Výhodou zapojení je, že neobsahuje žádnou indukčnost a jedinou velkou součástí je výstupní elektrolytický kondenzátor.

Jelikož v zapojení dochází ke spínání, je třeba u zapojení eliminovat EMI rušení, to se u tohoto zapojení řeší výpočtem hodnot R_8 a C_5 na vstupu gate tranzistoru T_1 , který omezí ostrost náběhů sepnutí tranzistoru. [19]

Pro snížení montážní výšky je navrženo nahrazení výstupního kondenzátoru C_3 tantalovými. Pro $U_{\xi-\xi}$ rovno 2 V a pro proud 100 mA vyžaduje zapojení kapacitu C_3 rovnou 470 μF . Musí být využit kondenzátor s low ESR, který ovlivňuje výstupní zvlnění napětí. Kondenzátor je třeba zvolit dle hodnoty ripple current rating, ta je pro odběr 100 mA rovna 800 mA. V datasheetu je dále uvedeno, že zvlnění výstupního napětí 12 V nelze snížit pod 4 % a je počítáno podle přibližného vzorce 2.6. [19]

$$U_{\xi-\xi} \approx (I_{VYST} + I_{3V3}) \cdot 2 \cdot f \cdot C_3 \quad (2.3)$$

Při zachování výpočtu zvlněného napětí $U_{\delta-\delta}$ rovno 2 V, je výpočet určen kombinovanou spotřebou $I_{VYST} + I_{3V3}$.

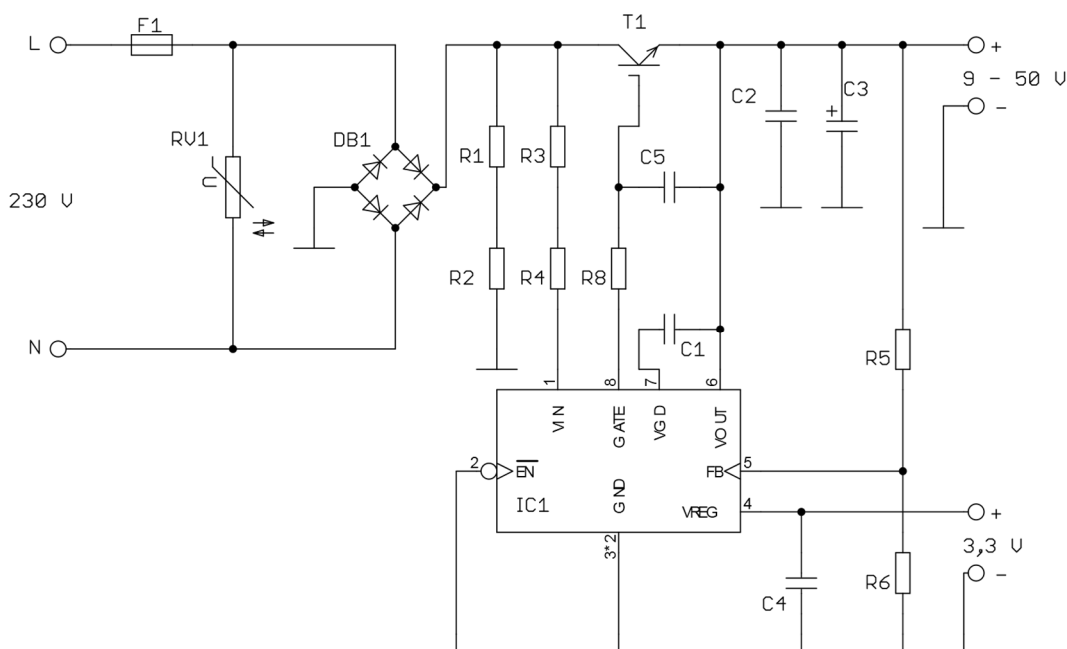
$$C_3 = \frac{(I_{VYST} + I_{3V3})}{U_{\delta-\delta} \cdot 2 \cdot f} = \frac{(0,03 + 0,03)}{2 \cdot 2 \cdot 50} = 0,0003 \text{ F} = 300 \mu\text{F} \quad (2.4)$$

Podle výpočtu 2.7 můžeme elektrolytický kondenzátor nahradit tantalovými kondenzátory $3 \times 100 \mu\text{F} / 16 \text{ V}$, viz Tab. 5. Upravené schéma je na Obr. 14.

Pro jeden kondenzátor $100 \mu\text{F}$ je určena hodnota ripple current rating 332 mA při teplotě okolí 25°C a 299 mA při teplotě 85°C . Při paralelním spojení kondenzátorů tedy se hodnota proudu ztrojnásobí a je splněna podmínka 800 mA, která je uvedena v datasheetu obvodu. [16]

Tab. 5 – Parametry zvoleného tantalového kondenzátoru

Kondenzátor	TAJD107K016RNJ
Typ kondenzátoru	tantalový
Montáž	SMD
Kapacita	100 μF
Pracovní napětí	16 V
Pouzdro	D
Tolerance	$\pm 10 \%$
Montážní výška	2,9 mm



Obr. 13 – Zapojení s obvodem SR086

2.2 Porovnání a výběr zapojení

Základní parametry pro porovnání vlastností zapojení Tab. 4.

Tab. 6 – Porovnání parametrů zvolených zdrojů

Parametry zapojení	MP157	LNK304	SR086
Výrobce	MPS	LinkSwitch	Microchip
Příkon naprázdno (mW)	<100	<200	<200
Účinnost (%)	<75	<75	<55
Dvě výstupní napětí	NE	NE	ANO
Zvlnění při plném zatížení: $U_{s.s}$ (V)	0,150	0,120	2
Montážní výška kondenzátorů (mm)	8	8	2,9
Montážní výška indukčnosti (mm)	8	8	-

Pro realizaci bylo vybráno zapojení s obvodem SR086, které podle porovnání vychází pro velikostní požadavky velice dobře, jak velikostně rozložením na DPS, tak na montážní výšku. Výstupní napětí 12 V má oproti zapojením MP157 a LNK304 řádově velké zvlnění, podle již předem zmíněného použití pro spínání relé, toto nebude mít vliv na funkčnost. Pro snížení spotřeby naprázdno je uvažováno využití EN pinu, který vypne hlavní zdroj a využije doplňujícího méně náročného zdroje na spotřebu.

3 Realizace vybraného zdroje SR086

Pro realizaci bylo zvoleno zapojení s obvodem od firmy Microchip s typovým označením SR086. Zapojení vychází z datasheetu pro daný obvod, schéma zapojení je na Obr. 13. Výstupní hodnota napětí 12 V je zvolena podle vzorce (4.1) pro výpočet rezistoru R_5 . Hodnota R_6 se volí. Maximální hodnota je 12,4 k Ω , aby byl splněn minimální proud 100 μ A do pinu FB. [19]

Pro úsporu místa jsou zvoleny rezistory velikosti 0603, dle vypočtené tabulky Tab. 7, aby mohly rezistory zůstat pouze dva a nemuselo se přistupovat k paralelním či sériovým kombinacím.

Výběr diodového můstku DM_1 je volený dle doporučení výrobce na závěrné napětí 1 kV a proud 1 A. Byl zvolen můstek z řady low profile (nízká montážní výška) 1,6 mm.

Pro dělič je vypočtený protékající proud I_{DEL} a z něho pak výkonová ztráta na děliči P_{DEL} . Rezistory velikosti 0603 podle typu mohou mít povolenou výkonovou ztrátu 65 mW nebo 100 mW. Podle dostupných hodnot výrobních řad rezistorů E24 a E48 jsou vybrány nejbližší hodnoty rezistoru R_6 a to tak, aby zbytečně nebyl zvýšený odběr naprázdno.

Příklad výpočtu zvýrazněného řádku:

$$R_5 = R_6 \cdot \left(\frac{U_{VYST}}{1,25} - 1 \right) = 10,5 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{12}{1,25} - 1 \right) = 90,3 \text{ k}\Omega \quad (3.1)$$

$$U_{VYST} = \left(\frac{R_5}{R_6} + 1 \right) \cdot 1,25 = \left(\frac{90,9}{10,5} + 1 \right) \cdot 1,25 = 12,071 \text{ V} \quad (3.2)$$

$$P_{DEL} = U_{VYST} \cdot I_{DEL} = U_{VYST} \cdot \frac{U_{VYST}}{R_5 + R_6} = 12,071 \cdot \frac{12,071}{90900 + 105000} = 0,00144 \text{ W} = 1,4 \text{ mW} \quad (3.3)$$

Tab. 7 – Volba rezistorů děliče pro výstupní napětí 12 V

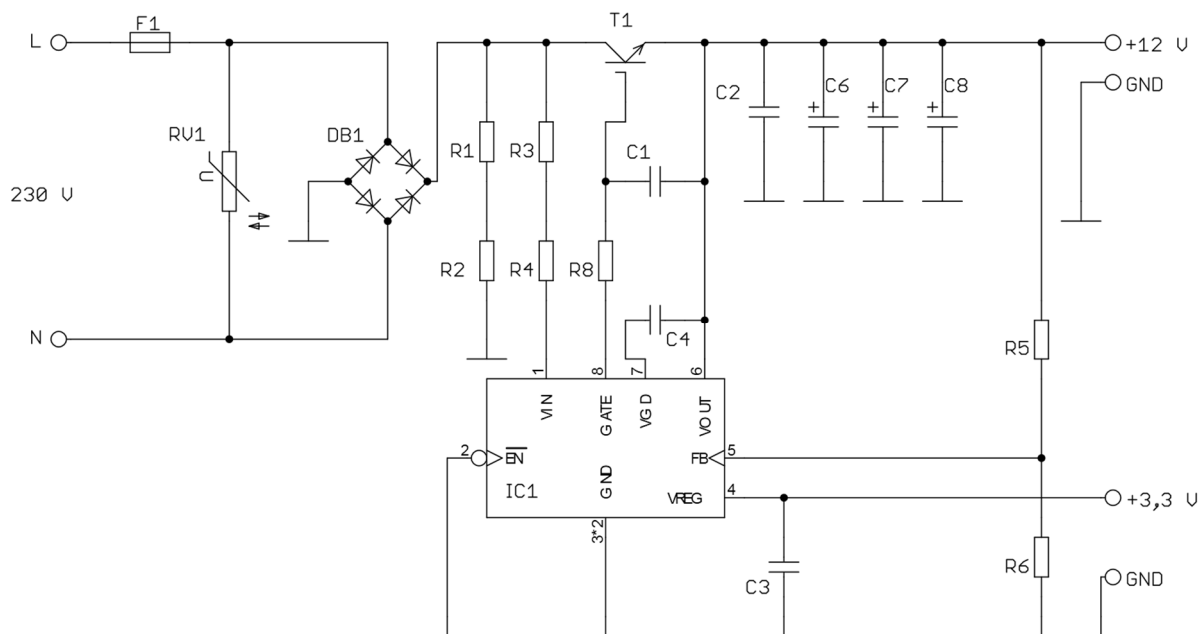
Vybrané rezistory z řady E24 a E48	Vypočtené hodnoty podle vzorce 4.1	Nalezeny nejbližší hodnoty z řady E24 a E48	Zpětný přepočet napětí z vyráběných řad rezistorů	Ztráty na napětíovém děliči
R6 (k Ω)	R5 (k Ω)	R5 (k Ω)	Výstupní napětí (V)	Ztráty na rezistorech (mW)
10	86	86,6	12,075	1,51
10,5	90,3	90,9	12,071	1,44
11	94,6	95,3	12,080	1,37
11,5	98,9	97,6	11,859	1,29
12	103,2	102	11,875	1,24
12,1	104,06	105	12,097	1,25

Pro vyráběné řady rezistorů jsou zvoleny hodnoty: $R_5 = 105 \text{ k}\Omega$ a $R_6 = 12,1 \text{ k}\Omega$, pro které vychází nejmenší výkonová ztráta na děliči 1,25 mW, výstupní napětí je přibližně 12,1 V.

EN pin je potřeba připojit přes rezistor 100 k Ω na nízký potenciál, jelikož má negativní logiku. Pokud EN pin není třeba využít, je možné ho připojit přímo na nízký potenciál. [19]

Pro ochranu obvodu před špičkami na síťovém napětí je doplněn varistor RV_1 s typovým označením S14K275, který je doporučen pro základní zapojení. Osazení bude provedeno naležato, aby se dodržela montážní výška. [19]

Dále byla zvolena SMD pojistka F_1 , která byla vybrána s nízkou montážní výškou 3 mm. Typové označení „3405.0166“.



Obr. 14 – Zapojení s obvodem SR086 – Úprava s tantalovými kondenzátory

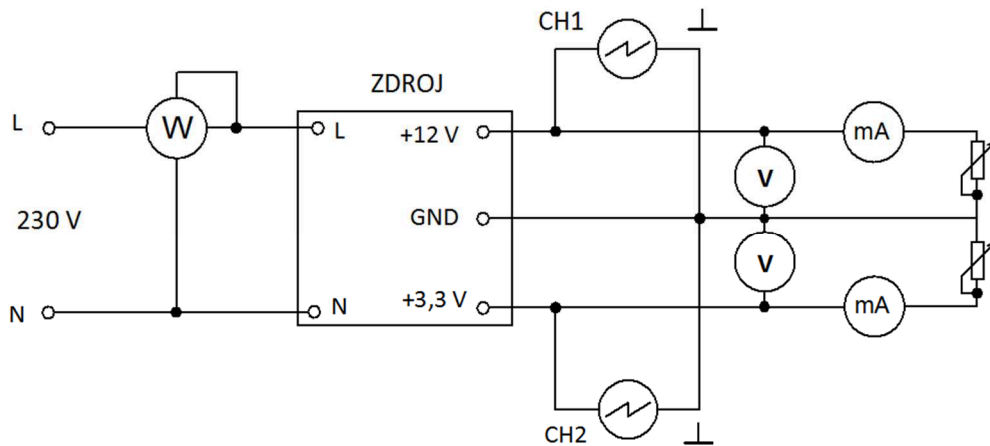
Plošný spoj byl navržen v programu Eagle verzi 7.4.

Byla vytvořena vlastní knihovna pro použité součástky. Byly nově vytvořeny některé knihovny SR086, IGBT tranzistor, diodový můstek a některé další upraveny dle potřeb a upřesnění datasheetů. Dále byly vytvořeny pouzdra pro diodový můstek, tantalový kondenzátor a naležato orientovaný varistor.

Plošný spoj se dělí na dvě části, podle napětí (nízké napětí a vysoké napětí). Dle těchto kategorií jsou navoleny v Eagle kategorie Net classes, které dovolují vylít polygonu v předem určených rozstupech, aby byly dodrženy izolační mezery. Izolační mezery byly zvoleny podle normy ČSN EN 61010-1, do které bylo nahlédnuto ve studovně VŠB–TUO. Zapojení je specifikováno jako zařízení spadající do skupiny přepětí II, dále pak pro materiály DPS je určena izolační mezera mezi vodiči L a N na 1,5 mm. Jelikož se nejedná o galvanicky oddělený zdroj, vzdálenost mezi nízkým napětím vysokým napětím bude taktéž 1,5 mm. Pro Net classes je tedy nadefinována vzdálenost 1,5 mm pro kategorii vysoké napětí. Podle normy až do napětí 50 V může být rozstup cest na DPS 0,04 mm. Pro lepší výrobu DPS fotocestou je velikost mezery určena podle rozestupu plošek pro SMD součástky s velikostí pouzdra 0603 na 0,6 mm. Plošné spoje pro testovací účely byly vytvořeny metodou osvitů fotorezistivního kuprexitu s nosným materiálem FR4. Osvětlení s použitím UV LED a vývojkou roztoku hydroxidu sodného. Leptání v roztoku chloridu železitého za pokojové teploty. A pocínování pomocí chemického přípravku cínové lázně CL-1.

4 Postup měření zapojení s obvodem SR086

Měření bylo prováděno pomocí wattmetru YOKOGAWA WT210, měření výstupního proudu pomocí multimetru METEX M-4640A, měření napětí pomocí multimetru RANGE RE95. Proud byl nastaven pomocí zařazené odporové dekády do obvodu. Osciloskop byl zapojen přes oddělovací transformátor, jelikož zdroj není galvanicky oddělen od sítě a není ho tak možné spojit se zemí osciloskopu. Blokové schéma měřeného obvodu na Obr. 15.



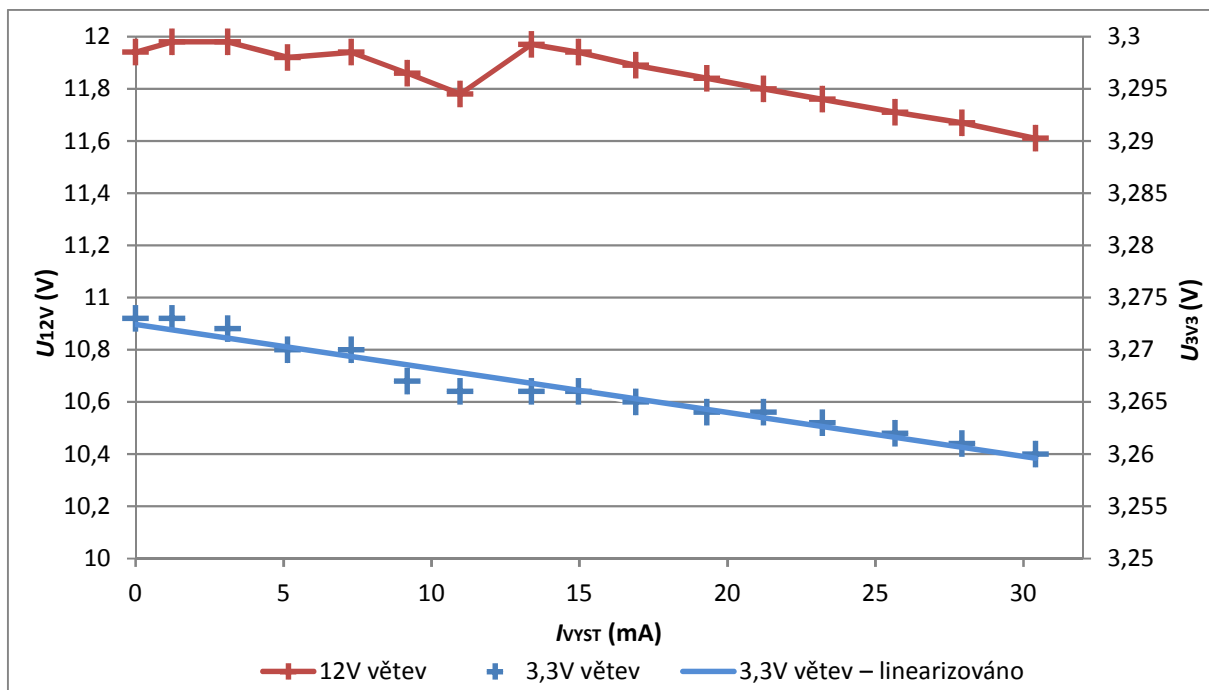
Obr. 15 – Schéma měřeného obvodu s obvodem SR086

Výpočet účinnosti zapojení u spínaných obvodů nelze počítat z činného výkonu, jelikož zapojení neodebírají proud ze sítě po celou dobu periody, a navíc je proud vůči napětí sítě fázově posunut, tedy složky zdánlivého a jalového výkonu S a Q . Pro tyto měření je potřeba použít sofistikovaná měřidla, která dokáží měřit tzv. True RMS. Tedy efektivní hodnotu napětí a proudu, která odpovídá celkovému odběru výkonu ze sítě. [1]

Výpočet účinnosti pro 12V větev, zatížení 30 mA:

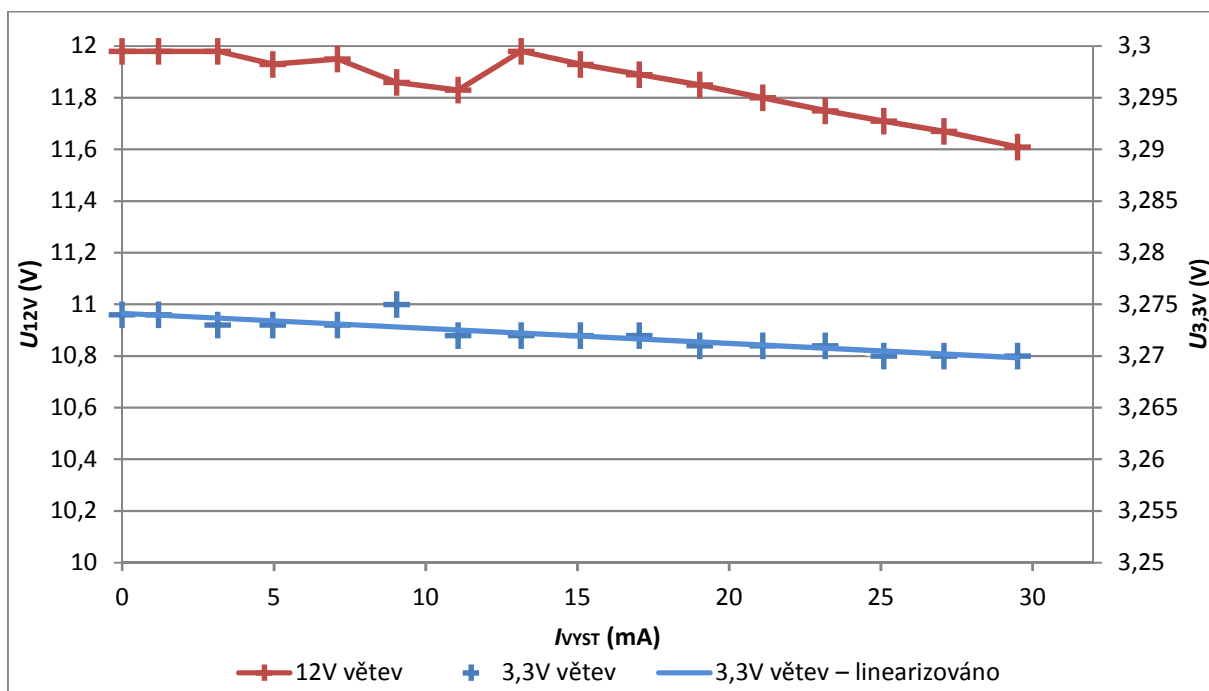
$$\eta = \frac{U_{VYST} \cdot I_{VYST}}{U_{VST} \cdot I_{VST}} \cdot 100 = \frac{11,58 \cdot (31,31 \cdot 10^{-3})}{239,5 \cdot (4,2195 \cdot 10^{-3})} \cdot 100 = 35,9 \%$$

Zatěžovací charakteristika 3,3V větve 0–31 mA a nezatížená 12V větev na Obr. 16.



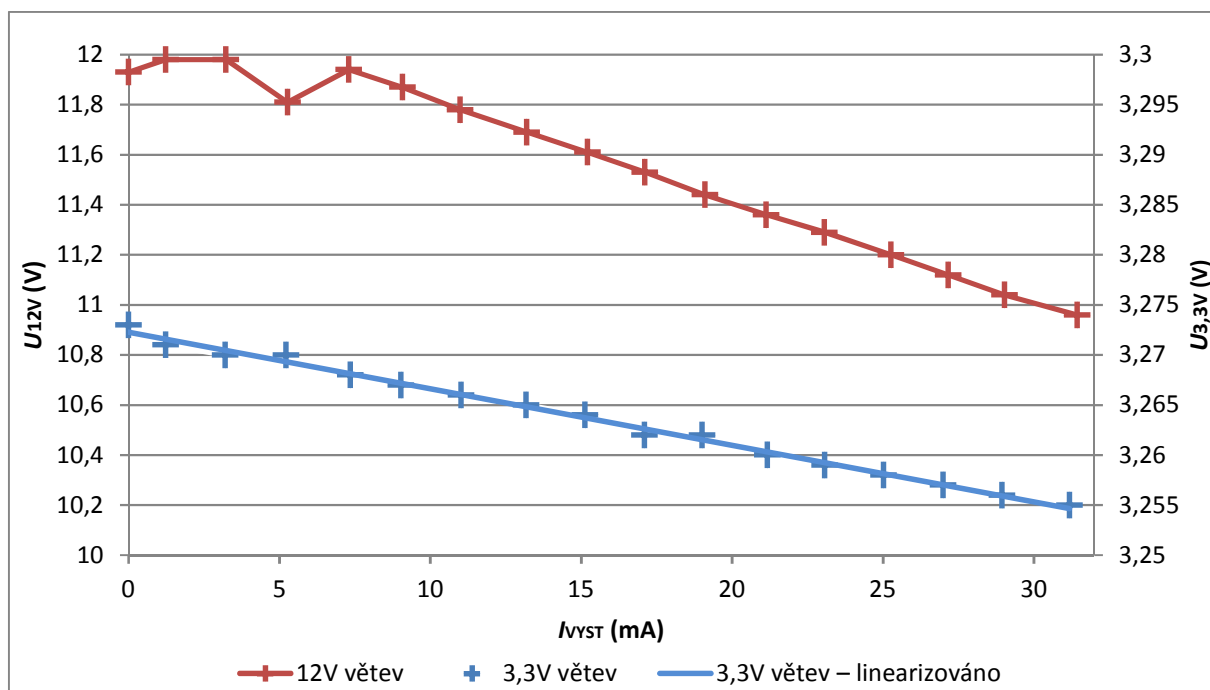
Obr. 16 – Zatěžovací charakteristika 3,3V větve a nezatížená 12V větev

Zatěžovací charakteristika 12V větve 0–31 mA a nezatížená 3,3V větev na Obr. 17.



Obr. 17 – Zatěžovací charakteristika 12V větve a nezatížená 3,3V větev

Zatěžovací charakteristika 3,3V a 12V větve 0–31 mA na Obr. 18.



Obr. 18 – Zatěžovací charakteristika 3,3V a 12V větve

Měření výstupu naprázdno:

Tab. 8 – Měření naprázdno s obvodem SR086

Vstupní síťové napětí U_{VST}	239 V
Proud do vstupu I_{VST}	0,945 mA
Příkon na vstupu P_{VST}	0,226 W

Měření zvlnění zdroje:

Tab. 9 – Měření zvlnění napětí pro výstupní napětí

Zapojení s obvodem SR086	Naměřeno
Zvlnění výstupního napětí 12 V pro kombinovanou zátěž $I_{3V3} = 31 \text{ mA}$ a $I_{12V} = 31 \text{ mA}$	2,13 V
Zvlnění výstupního napětí 3,3 V pro kombinovanou zátěž $I_{3V3} = 31 \text{ mA}$ a $I_{12V} = 31 \text{ mA}$	16,7 mV
Zvlnění výstupního napětí 3,3 V pro zatížení $I_{3V3} = 31 \text{ mA}$	8,4 mV

5 Rozšiřující řešení snížení spotřeby naprázdno

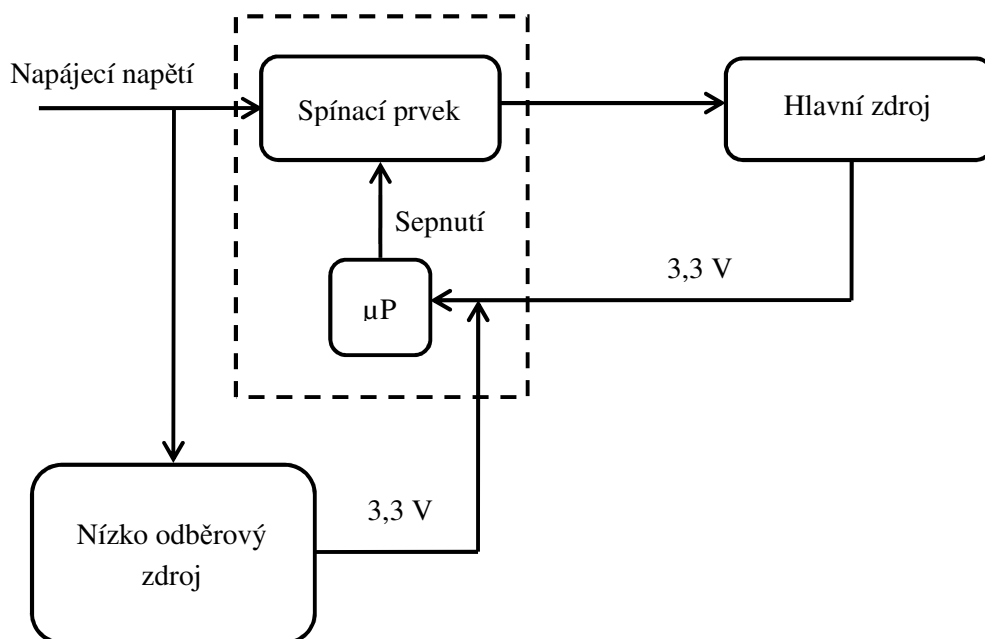
Pro snížení spotřeby na prázdno byla vymyšlena úprava zapojení, kterou je potřeba již přímo upravit podle použitého μP . A to tak, že prvotně navržený zdroj s obvodem SR086 se bude pro lepší orientaci v textu nazývat **hlavní zdroj** a zdroj pro snížení spotřeby se bude v textu označovat jako **nízko odběrový zdroj**. Tento krok je vymyšlen s přímým cílením na určitý druh použití zapojení v praxi, jakou jsou zařízení, která jsou ve stavu kdy nejsou buďto vůbec připojena ke zdroji anebo čekají na svoje spuštění v nízko odběrovém režimu. Mezi takovéto zařízení mohou patřit zařízení jakou jsou inkoustové tiskárny, varné konvice s regulací teploty, regulátory osvětlení, elektronické (bez)dotykové vypínače a další jedno účelové aplikace.

Funkce, jak již bylo rozdělením naznačeno na dva zdrojové části, spočívá v odpojení hlavního zdroje v době nízkého odběru a tímto způsobem se ještě více minimalizuje odběr naprázdno. Výhodou zapojení se dá považovat to, že ze zdroje je možné napájet μP , který může být v tzv. režimu spánku.

V případě, že použijeme μP od firmy Microchip např. řady 10Fxxx, 12Fxxx, 18Fxxx a podobně, které mají odběr ve SLEEP režimu do 1 μA , je možné tak tyto procesory provozovat v tomto režimu připojené na nízko odběrovém zdroji. [14]

Zapojení je možné nastavit podle parametrů μP tak, že napájecí napětí ve SLEEP režimu může být nižší než napětí pro plnou funkci μP a také se tak ještě více sníží odběr, ale v rámci celého zapojení již jen nepatrně. Pro nízko odběrový zdroj je tak zvoleno napětí 3,3 V a po probuzení si μP připne hlavní zdroj a je již napájen z něho. Ideálním stavem by bylo, aby se hlavní zdroj připnul automaticky při zvýšení odběru z nízko odběrového zdroje.

V probuzeném stavu odebírá μP proud 470 μA , vnitřní oscilátor na frekvenci 4 MHz. Při použití externího oscilátoru 20 MHz je příkon 3 mA. [14]



Obr. 19 – Blokový návrh možného řešení snížení spotřeby

5.1.1 Lineární stabilizátor s obvodem LR8

Pro úpravu zapojení byl použit lineární regulátor LR8 od firmy Microchip, který je schopný stabilizovat ze vstupního napětí až 450 V DC v rozsahu 1,2 až 438 V. Základní zapojení na Obr. 20. Po usměrnění a vyfiltrování síťového napětí je schopný dodat požadované napájení pro μP . Maximální výstupní proud je omezen na 20 mA. Spotřeba samotného obvodu, tedy proud do pinu ADJ je $I_{ADJ} = 10 \mu F$. [7]

Nevýhodou tohoto zapojení je velice nízká účinnost a tím tedy výkonová ztráta, která již pro proud 10 mA tvoří 3,2 W.

$$P_{VST} = (U_{USM} - U_{VYST}) \cdot I_{VYST} = (325 - 3,3) \cdot (0,01) = 3,217 \text{ W} \quad (6.1)$$

Účelem tohoto obvodu je ovšem vytvořit pouze udržovací zdroj, který v době stavu naprázdno odebírá co nejmenší proud a hlavní zdroj mohl být tak odepnut. Po zapnutí μP nám proto stačí programově ošetřit, aby se jako první v programu vyslal pokyn a připnul se hlavní zdroj, který již dokáže dodat dostatek proudu pro funkčnost ostatních součástí.

Příkon naprázdno: v desítkách mW

Výstupní proud: 10 mA

Výstupní napětí: nastavitelné v rozsahu 1,2 až 438 V

Pro určení výstupního napětí je třeba určit poměr pro napěťový dělič R_1 a R_2 . Proud děliče se volí 10× větší než proud do ADJ pinu.[3]

Výpočet proudu napěťovým I_{DEL} děličem:

$$I_{DEL} = 10 \cdot I_{ADJ} = 10 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 100 \mu A \quad (6.2)$$

Součet rezistorů děliče R_1 a R_2 je označen R_{DEL} :

$$R_{DEL} = \frac{U_{OUT}}{I_{DEL}} = \frac{3,3}{100 \cdot 10^{-6}} = 33\,000 \Omega \quad (6.3)$$

Výpočet hodnot děliče je zvolen tak, aby součet byl roven R_{DEL} . výstupní napětí U_{VYST} je zvoleno na 3,3 V.

$$U_{OUT} = 1,2 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ} \cdot R_2 = 1,2 \cdot \left(1 + \frac{20 \cdot 10^3}{13 \cdot 10^3}\right) + 10 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^3 = 3,246 \text{ V} \cong 3,25 \text{ V} \quad (6.4)$$

Hodnoty jsou zvoleny:

$$R_1 = 13 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 20 \text{ k}\Omega$$

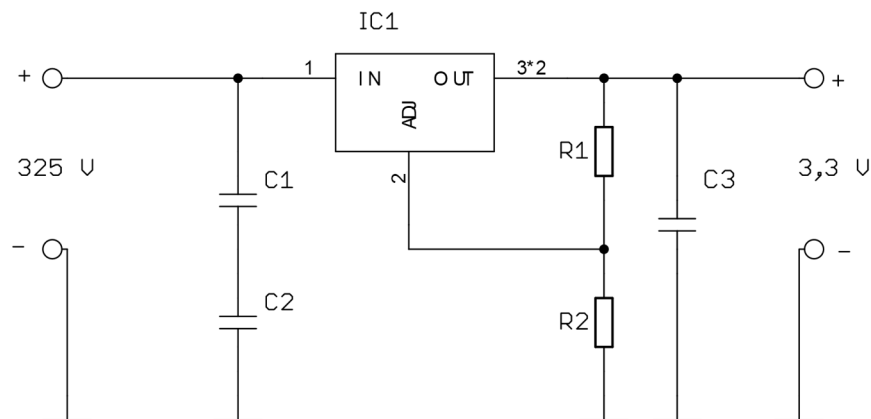
$$U_{USM} = 325 \text{ V}$$

Výpočet proudu naprázdno P_{VST} :

$$P_{VST} = U_{USM} \cdot I_{ADJ} = 325 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,0325 \text{ W} = 32,5 \text{ mW} \quad (6.5)$$

Příkon zdroje naprázdno je tak tímto určen na 32,5 mW, což je přibližně 6× méně, než zvolená varianta s obvodem SR086 a 3× méně než s obvodem MP157.

V obvodu je potřeba zvolit kondenzátor C_2 , který zabráňuje rozkmitání obvodu. [2] Dle datasheetu se volí 1 μF . [7]



Obr. 20 – Zapojení s lineárním stabilizátorem LR8

Proud stabilizátoru je určen na $I = 8 \text{ mA}$, které pro probuzení μP stačí a je počítáno ještě se špičkovým odběrem a popřípadě nějakou připojenou periferií a po probuzení si již připne primární zdroj.

Pro další výpočty je potřeba počítat s napětím v síti, které je $230 \text{ V} / 50 \text{ Hz} \pm 10 \%$.

Tab. 10 – Hodnoty rozpětí napájecího napětí sítě

Tolerance	-10 %	0 %	+10 %
Sinusové napětí	207,00	230,00	253,00
Stejnoseměrné napětí U_{USM}	292,74	325,27	357,80

Výpočet kondenzátoru C_1 podle vzorce 6.6 a 6.7, kde t_{USM} je perioda síťového napětí a f_{USM} frekvence usměrněného napětí:

$$t_{\text{USM}} = \frac{1}{f_{\text{USM}}} = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ s} \quad (6.6)$$

$$C_1 = I_{\text{VYST}} \cdot \frac{t_{\text{USM}}}{U_{\text{VST}} - U_{\text{VYST}} - 12} = 0,008 \cdot \frac{0,01}{358 - 3,3 - 12} = 2,318 \cdot 10^{-7} = 23,34 \text{ nF} \quad (6.7)$$

Pro nízkou montážní výšku byl zvolen $2 \times$ kondenzátor z vyráběné řady 47 nF / 160 VAC/250VDC, typové označení SMDTF02470QA00KP00, parametry viz Tab. 11. Kondenzátory jsou zapojeny sériově, pro dosažení dostatečného napětí, tím se sníží kapacita na polovinu, výpočet pomocí vzorce 6.8.

$$C_{\text{SER}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{47 \cdot 47}{47 + 47} \cdot 10^{-6} = 23,5 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 23,5 \text{ nF} \quad (6.8)$$

Tab. 11 – Parametry zvoleného kondenzátoru C_1

Kondenzátor	WIMA SMDTF02470QA00KP00
Typ kondenzátoru	polyesterový
Montáž	SMD
Kapacita	47 nF
Pracovní napětí	160 V = / 250 V ~
Pouzdro	2220
Montážní výška	3 mm

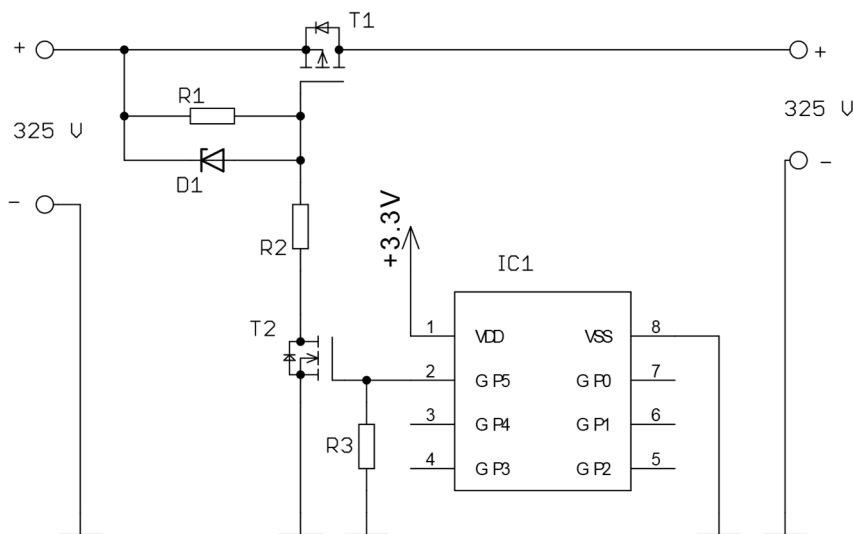
5.1.2 Návrh připnutí hlavního zdroje

Původně bylo zamýšleno, že by stačilo zapojení s obvodem SR086 vypnout přes EN pin. Při testování na postaveném prototypu se však ukázalo, že obvod není zcela vypnut. Na výstup se přenáší cca 1 V napětí. Nemohly se tak ani vyřadit z provozu rezistory $2 \times 200 \text{ k}\Omega$, které zajišťují vybití kapacit v obvodu, a tak zajistit, že obvod může z detekovat pokles napětí pod hodnotu výstupního, a tak regulovat nabíjení výstupního kondenzátoru. Z těchto důvodů bylo přikročeno k celkovému odpojení hlavního zdroje.

Možnost odpojení je realizována pomocí P-MOS tranzistoru T_1 a pro jeho sepnutí a rozepnutí musí být využit druhý tranzistor T_2 , viz Obr. 21. Rezistor R_1 přidržuje tranzistor T_1 zavřený, v případě sepnutého tranzistoru T_2 je na děliči R_{12} vytvořeno napětí vůči gate T_1 a tranzistor je sepnutý. Zapojení je doplněno o zenerovu diodu ZD_1 s napětím 15 V, která zabraňuje proražení gate T_1 . [13]

Tab. 12 – Změna napětí na děliči

Sinusové napětí	230 V
Stejnoseměrné napětí	325,27 V
proud děličem	0,342 mA
R_1	42 k Ω
R_2	910 k Ω
Napětí na R_1	14,35 V
Napětí na R_2	310,92 V



Obr. 21 – Zapojení pro odepnutí a připnutí hlavního zdroje SR086 pomocí μP

Tranzistory je třeba dimenzovat minimálně na 400 V, pro tento účel byl zvolen tranzistor T_1 s maximálním napětím drain-source -400 V, viz Tab. 13 parametry tranzistoru IRFR9310. [20]

Tab. 13 – Parametry tranzistoru T_1

Tranzistor	IRFR9310PBF
Typ tranzistoru	P-MOSFET
Napětí drain-source	-400 V
Proud drainu	-1.8 A
Výkon	50 W
Pouzdro	DPAK
Odpor v sepnutém stavu	7000 mΩ

Tranzistor N-MOS T_2 je vybrán s nízkým napětím pro otevření, aby mohl být sepnut napětím 3,3 V z výstupního pinu μP . [6] Základní parametry viz Tab. 14. Tranzistor, dle datasheetu je schopný při napětí gate-source 3 V sepnout 0,05 A, tedy dostatečně pro připnutí děliče R_1 a R_2 a tím otevřít hlavní spínací tranzistor T_1 .

Rezistor R_3 přidržuje T_2 zavřený a po přivedení 3,3 V z μP dojde ke vzniku úbytku na R_3 a otevření T_2 . Hodnota R_3 je zvolena tak, aby proud potřebný pro vytvoření úbytku nezatěžoval μP , viz rovnice 6.8. Je tedy zvolen $I_R = 0,5$ mA

$$R_3 = \frac{U_{3V3}}{I_R} = \frac{3,3}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 15 \text{ k}\Omega \quad (6.8)$$

Tab. 14 – Parametry tranzistoru T_2

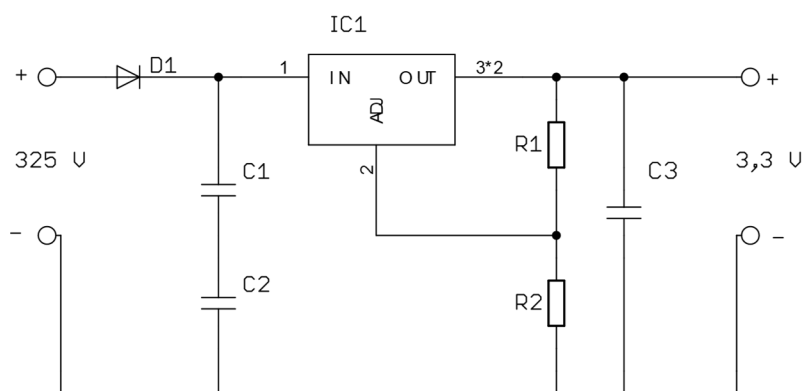
Tranzistor	BSS225H6327FTSA1
Typ tranzistoru	N-MOSFET
Napětí drain-source	600 V
Proud drainu	90 mA
Pouzdro	SOT89
Napětí gate-source	± 20 V
Odpor v sepnutém stavu	45 Ω

5.1.3 Spojení hlavního a nízko odběrového zdroje

Spojení těchto dvou zapojení musí být provedeno přes diodu D_1 , která odděluje obvod SR086, aby mohl splňovat svou detekci snížení napětí v síti, viz Obr. 24. Dioda D_1 tak oddělí usměrněné kmitavé napětí od vyfiltrovaného napětí pro obvod LR8. Úbytek na diodě D_1 a spojené ztráty, zde jsou zanedbatelné, z důvodu, že obvod běží jen při velice nízkém odběru. Diodu je možné zvolit se závěrným napětím například z vyráběné řady 600 V, jelikož již zde nebude vystavena přímému napětí ze sítě a s nimi spojenými napěťovými špičkami. Parametry zvolené diody viz Tab. 15.

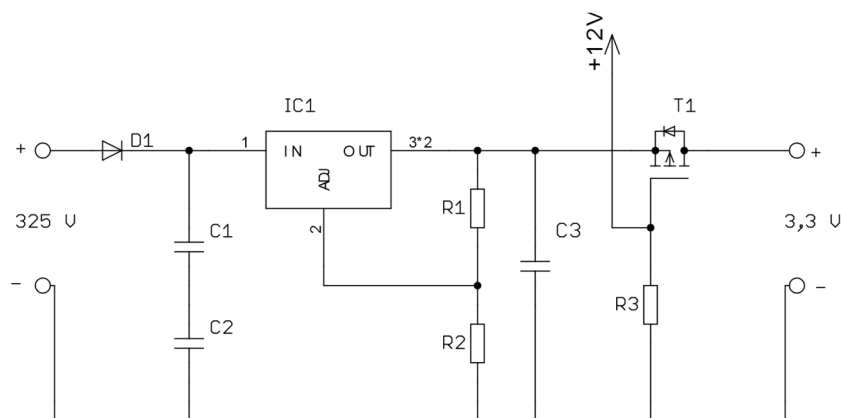
Tab. 15 – Parametry diody D_1

Dioda	FR05JFL
Typ diody	usměrňovací
Montáž	SMD
Max. závěrné napětí	600 V
Souvislý proud	500 mA
Pouzdro	SOD123



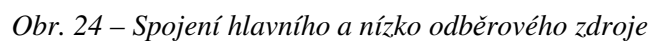
Obr. 22 – Oddělení nízko odběrového zdroje

Po připojení hlavního zdroje se musí odpojit nízko odběrový zdroj. To se provede pomocí P-MOS tranzistoru T_4 , jeho gate je připojen na +12 V hlavního zdroje, které vůči source tranzistoru T_4 , dává hodnotu -8,7 V na gate T_1 a tranzistor je uzavřen. Rezistor R_{12} drží tranzistor otevřený, po dobu funkčnosti nízko odběrového zdroje. Viz Obr. 23.



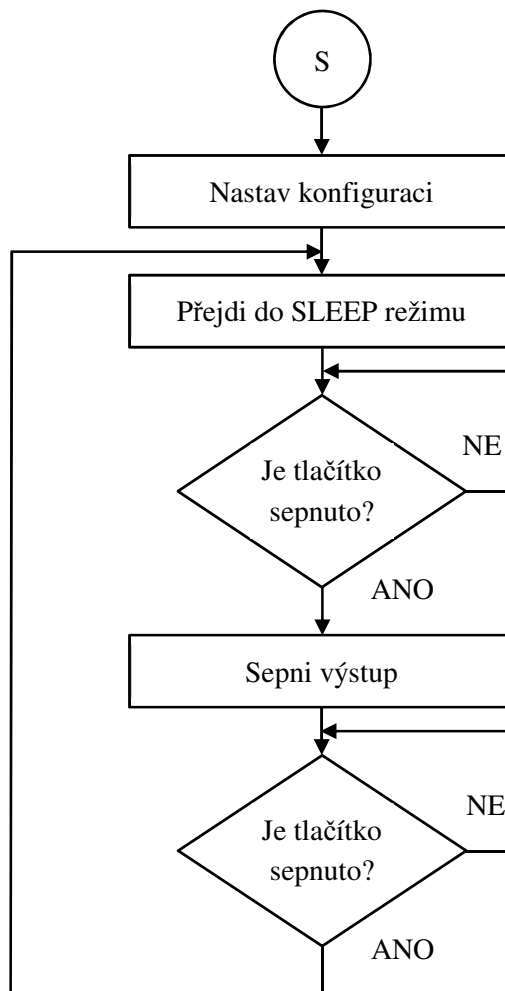
Obr. 23 – Odpojení nízko odběrového zdroje

Spojení nízko odběrového zdroje a hlavního zdroje je na Obr. 24.



Pro možnost testování zapojení byl napsán zdrojový kód pro μP PIC12F675 v programovacím jazyku assembler, který ihned po startu uvede μP do stavu SLEEP a čeká na probuzení od tlačítka na pinu GP2. Po stisku tlačítka dojde k probuzení a sepnutí pinu GP0, který přivede napětí na tranzistor T_2 , a následně dojde k připojení napájecího zdroje s obvodem SR086.

33



Obr. 25 – Vývojový diagram testovacího programu pro PIC12F675

5.1.5 Měření zapojení s obvodem LR8 a SR086

Měřené zapojení bylo stejně jako v kapitole 4.

Naměřené výsledky naprázdno s μP v režimu SLEEP, viz Tab. 16.

Tab. 16 – Odběr naprázdno v režimu SLEEP

I_{vst} (mA)	0,273
S (VA)	0,063
Q (var)	0,0407
U_{VST} (V)	230
P_{vst} (W)	0,047
$\cos\varphi$ (-)	0,0995
φ (°)	40,5 induktivní

Měření po zapnutí μP s napájením obvodu děliče, ale bez připnutí hlavního zdroje, viz Tab. 17.

Tab. 17 – Odběr při zapnutém μP

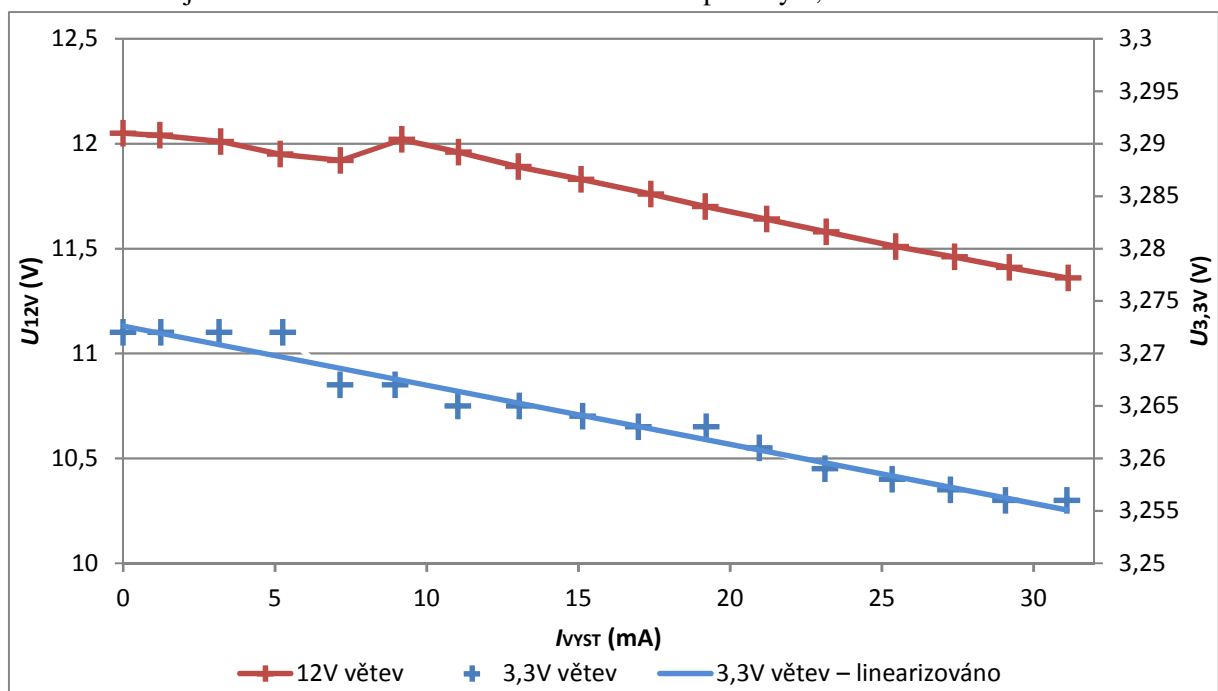
$I_{vst} \text{ (mA)}$	1,615
$S \text{ (VA)}$	0,373
$Q \text{ (var)}$	0,251
$U_{VST} \text{ (V)}$	230
$P_{vst} \text{ (W)}$	0,2746
$\cos\varphi \text{ (-)}$	0,74
$\varphi \text{ (}^\circ\text{)}$	42,2 kapacitní

Měření po zapnutí μP a připnutí primárního zdroje, viz Tab. 18. Zde byla změřena velká ztráta na tranzistoru T_1 , při maximálním zatížení 60 mA na výstupu. Ztrátový výkon byl odhalen přehříváním obvodu v místě tranzistoru T_1 .

Tab. 18 – Připnutí primárního zdroje

$I_{vst} \text{ (mA)}$	136
$S \text{ (VA)}$	31,358
$Q \text{ (var)}$	31,340
$U_{VST} \text{ (V)}$	230
$P_{vst} \text{ (W)}$	1,630
$\cos\varphi \text{ (-)}$	0,0527
$\varphi \text{ (}^\circ\text{)}$	87 kapacitní

Na Obr. 26 je zatěžovací charakteristika kombinované spotřeby 3,3V a 12V větve.



Obr. 26 – Zatěžovací charakteristika 3,3V a 12V větve

6 Zhodnocení výsledků zapojení

Zhodnocení naměřených, požadovaných vlastností a parametry garantovány výrobcem.

6.1 Zhodnocení zapojení s obvodem SR086

Tab. 19 – Porovnání parametrů zdroje s obvodem SR086 s parametry výrobce

Zapojení s obvodem SR086	Naměřeno	Určeno výrobcem
Příkon naprázdno pro 230 V	190 mW	<200 mW
Příkon naprázdno pro 239 V	226 mW	nedefinováno
Zvlnění výstupního napětí 12 V pro kombinovanou zátěž $I_{3V3} = 31 \text{ mA}$ a $I_{12V} = 31 \text{ mA}$	2,13 V	2 V
Zvlnění výstupního napětí 3,3 V pro kombinovanou zátěž $I_{3V3} = 31 \text{ mA}$ a $I_{12V} = 31 \text{ mA}$	16,7 mV	100 mV (pro zátěž 100 mA)
Rozmezí napětí v závislosti na zatížení	3,273 až 3,255 mV	3,465 až 3,125 mV

Podle výsledků měření příloha A.3 vychází pokles napětí při maximální kombinované zátěži 60 mA o 18 mV. Podle výsledků jsou hodnoty výrobcem určeny s dostatečnou rezervou.

Na Obr. 16, Obr. 17, Obr. 18 jsou grafy zatěžovacích charakteristik. Při zatížení proudem cca 11 mA došlo při měřeních k propadu napětí, které je způsobeno spínáním IGBT tranzistoru, který během měřeného rozsahu zatížení mění dobu spínání, která reguluje výstupní napětí na požadovanou hodnotu 12 V. Tento propad je hodnota, která se obvodu pravděpodobně nedaří doregulovat. Pokles je v rámci celkové regulace obvodu zanedbatelný.

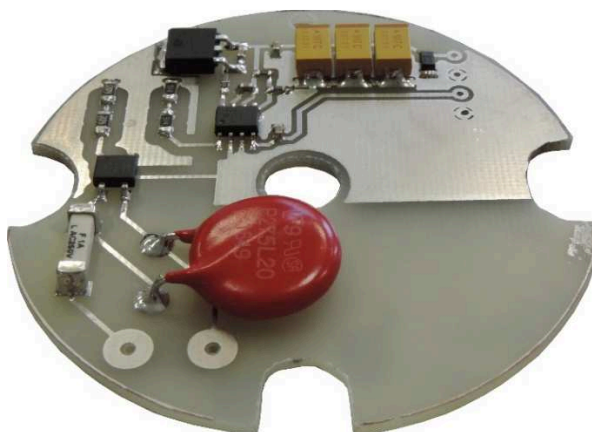
Účinnost zapojení se stoupajícím zatížením roste, viz příloha A.1, A.2, A.3. Pokud bychom odebírali z 12V větve 60 mA, dostali bychom účinnosti až 62 %, jelikož proud 30 mA musí projít přes lineární stabilizátor, je tak účinnost celkového zapojení 43,2 %. Tyto hodnoty odpovídají údajům výrobce.

Montážní výška vyšla pro celé zapojení do 4,3 mm. Hodnota měla být původně 3 mm, ale byla zde chybně zvolena výška varistoru na ležato, který má šířku pouzdra 4,3 mm.

6.2 Cenová bilance zapojení s obvodem SR086

V příloze A.6 je výpočet ceny součástek pro osazení. Drahou součástí je zde IGBT tranzistor, který vychází na 28 Kč, poté samotný obvod SR086 stojí 30 Kč a poté tři tantalové kondenzátory dohromady také 30 Kč. Při běžných cenách by tak součástky pro osazení stály 112 Kč a při množstevní slevě nákupu komponentů byla cena vypočítána na 70 Kč. Při akceptování vyšší montážní výšky je možné nahradit tantalové kondenzátory levnějším elektrolytickým kondenzátorem s nízkou hodnotou ESR je cena 5 Kč. Což zlevní celé zapojení o 25 Kč. Výsledná DPS na Obr. 27.

Po vytvoření testovacího zapojení SR086, bylo zjištěno, že nelze využít pin EN, pro minimalizování odběru zdroje. Bylo proto vymyšleno zapojení, které odpojí celý zdroj od napájecí sítě a tím minimalizuje spotřebu naprázdno kapitola 5.



Obr. 27 – Osazená DPS s obvodem SR086

V Tab. 20 je uvedeno zhodnocení spotřeby vůči ceně elektrické energie. Ze zhodnocení vyplývá že, aby se zapojení zaplatilo vůči ceně spotřebované elektrické energie, která by se ušetřila vůči požadované vyhlášce, určující spotřebu na maximálně 500 mW. Je zařízení s odběrem 200 mW potřeba provozovat hrubým odhadem 5 let (při pořizovací ceně 70 Kč). Při zařízení se spotřebou 50 mW, by tato doba byla přibližně 1 rok. Reálná cena při výrobních nákladech by se dala odhadovat na dvojnásobek až trojnásobek, doba návratnosti by se tedy prodloužila.

Tab. 20 – Porovnání zapojení z ohledu spotřeby elektrické energie

	Spotřeba za rok při ceně elektřiny 5,5 Kč za 1 kWh	Spotřebované množství elektrické energie za rok	Za rok takovéto zařízení ušetří vůči normě 500 mW	Úspora energie za 10 let provozu
Zapojení se spotřebou 50 mW	2,4 Kč	0,438 kWh	3,742 kWh (21 Kč)	37,42 kWh (210 Kč)
Zapojení se spotřebou 200mW	10 Kč	1,752 kWh	2,628 kWh (14 Kč)	26,28 kW (140 Kč)
Zapojení se spotřebou 500 mW	24 Kč	4,38 kWh	-	-

6.3 Zhodnocení zapojení s kombinací obvodu LR8 a SR086

Při měření byla zjištěna rozdílná spotřeba vypočtená 32 mW, proti 47 mW naměřených. Bylo zjištěno, že obvod LR8, nemůže mít hodnotu děliče nastavenou podle předpokladu proudu ADJ pinem 10× větší, jak bylo určeno podle z literatury [2]. Ale podle datasheetu musí být zvolena spotřeba naprázdno na hodnotu 500 μ A, aby byly splněny parametry dány výrobcem. Tato hodnota dává příkon 115 mW. Což by v případě opravení zapojení snížilo spotřebu oproti původním 200 mW, ale výsledek z důvodu komplikovanému zapojení není uspokojivý. Zapojení i přesto fungovalo a pravděpodobně jen vykazovalo vyšší zvlnění napětí na výstupu, což μ P nemuselo pro jednoduchý typ aplikace nijak vadit a po probuzení si již μ P připnul napájení z obvodu SR086.

Pro nahrazení obvodu LR8 byl nalezen podobný obvod LR645, který může být provozován na prázdko a jeho odběr na prázdko by měl být typicky 50 μA , jeho výstupní napětí je ovšem pevně dáno na 10 V. Za tento obvod by musel být ještě navrhnout nízko odběrový lineární stabilizátor. Jako vhodný obvod byl nalezen například obvod MCP1703T-3302E, který může být taktéž provozován naprázdko a jeho proud na prázdko je 5 μA . výsledná spotřeba kombinací obvodů naprázdko by měla být do 20 mW. Tyto výpočty již nejsou v práci zohledněny a jsou zde uvedeny pro představu. Zapojení by se stalo opět o něco komplikovanější a o něco by stoupla cena.

Při testech připínacího obvodu bylo zjištěno, že tranzistor T_3 na Obr. 24 není při funkci zcela sepnut a dochází k nadměrnému zahřívání. Zahřívání bylo omezeno pomocí úpravy hodnoty zenerovy diody na 5,6 V, kdy se uspíšilo otevření tranzistoru.

Účinnost zdroje je poté tedy při maximálním zatížení 40,9 %, oproti zapojení bez odpínání, je tak účinnost nižší o 2,3 %. S tím jsou spojeny ztráty na tranzistoru.

Při prvních měření v laboratoři bylo zjištěno zahřívání varistoru a dokonce došlo k překmitu výstupního napětí, které zničilo výstupní tantalové kondenzátory. Po znovu prostudování datasheetu bylo zjištěno, že před obvodem nesmí být použito oddělovací trafo, které způsobuje naindukování napětíových špiček, které jsou tak trvale sráženy varistorem a ten se v důsledků zachytávání špiček zahřívá. Při testech s oddělovacím transformátorem došlo pravděpodobně k překmitnutí výstupního napětí a došlo k poškození tantalových kondenzátorů. Na výstup zapojení byla přidána zenerova diodou, která chrání výstupní kondenzátory. Po této úpravě již nikdy k problémům nedošlo a při použití tantalových kondenzátorů v zapojení se přidání zenerovy diody jeví jako dobrou ochranou.

7 Závěr

Zapojení s obvodem SR086 je z mého pohledu zajímavou alternativou pro jednoduchá zapojení s nízkým odběrem. Splňuje požadavky pro spínání obvodu relé a pro napájení μP , což je dáno specifikací této práce. Toto zapojení je také zajímavé svým funkčním zapojením, které využívá spínání usměrněného napětí přímo do výstupního kondenzátoru.

Spotřeba zařízení na prázdno není zcela zanedbatelná oproti jiným zapojením. A proto bylo již v počátcích výběru zapojení počítáno s využitím alternativní cesty, a to vypnutí obvodu pomocí EN pinu. Předpokládal jsem, že obvod tak přestane odebírat proud a bude moci být využíváno sekundárního obvodu, který bude zastupovat funkci nízkého příkonového zdroje. To se ovšem nepotvrdilo, jelikož výkon na prázdno se spotřebovává na vstupních rezistorech a na napájení obvodu SR086, které je aktivní i v případě vypnutí přes EN pin. S tímto zjištěním byla navrhnutá jiná řešení rozebrána v kapitolách této práce.

Návrh DPS byl optimalizován pro rozměry montážní krabičky KU68, do které je možný zdroj umístit přišroubováním do horní části krabičky nebo je možné zdroj vložit na dno. Tato řešení jsou zadokumentována v příloze A.5.

Při snížení požadavků na montážní výšku zapojení se dá snížit cena zapojení použitím levnějších komponentů. Jedny z drahých součástí jsou zde tantalové kondenzátory.

Z mého pohledu navržené rozšiřující zapojení v kapitole 5 s odpínáním obvodu SR086 je dobrou ukázkou způsobu, jakým může být snížena spotřeba na prázdno. Toto zapojení je možné modifikovat a použít pro jiné zdroje, které nesplňují požadavky nízkého odběru. Vývoj a požadavky norem a směrnic jdou stále kupředu a s ohledem na to, že vyhláška pro určení spotřeby zařízení je již z roku 2013, dá se očekávat snižování této hodnoty pod hranici 0,5 W, popřípadě 1 W pro zařízení s displejem.

Rozšiřující zapojení se neobešlo bez řešení problémů nadměrnému zahřívání tranzistoru, který připíná hlavní zdroj. Tento problém byl vyřešen pomocí úpravy napětí zenerovy diody, která uspíší otevření tranzistoru a sníží jeho zahřívání. Této problematice by chtělo věnovat více času. A pro jiná zapojení vymyslet alternativní způsob odepnutí hlavního zdroje. P-MOS tranzistor má zde vysoký vnitřní odpor, který k snížení ztrát nepřispívá, a jeho spínání pomocí dalšího tranzistoru je zbytečně komplikované.

Pro zlepšení užitečnosti zapojení by bylo dobré napájecí napětí pro spínání relé navrhnout na vyšší vyráběné napětí 24 V, čímž by se snížil proud odebíraný z hlavní větve napájecího zdroje a to v průměru na polovinu. Zdroj s obvodem SR086 dokáže dodávat výstupní napětí 9-50 V, tato úprava je tedy možná.

8 Seznam použité literatury

- [1] FAKTOR, Zdeněk. *Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje*. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 8086056910.
- [2] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje II*. 2. vyd., dotisk. Praha: BEN - technická literatura, 1998. ISBN 8086056031.
- [3] KREJČÍŘÍK, Alexandr, 2001, *Napájecí zdroje I*. vyd. Praha : BEN - technická literatura. ISBN 80-7300-002-4.
- [4] BATES, Martin. *Interfacing PIC microcontrollers: embedded design by interactive simulation*. 2nd ed. Burlington, MA: Newnes, 2014. ISBN 9780080993720 0080993729 008099363X 9780080993638.
- [5] Acal BFi - Planar E cores - Core halves for use in combination with an E core [online]. 2015 [cit. 2016-01-22]. Dostupné z: <http://www.acalbfi.com/nl/Magnetic-components/Cores/Ferrite/p/Planar-E-cores---Core-halves-for-use-in-combination-with-an-E-core/00000000PD>
- [6] BSS225: SIPMOS ® Small-Signal-Transistor. In: SIPMOS ® Small-Signal-Transistor [online]. 2015, s. 1-9 [cit. 2016-02-19]. Dostupné z: http://www.infineon.com/dgdl/Infineon--DS-v01_28-EN.pdf?fileId=db3a30433b47825b013b60c128d06dfa
- [7] LR8 - High-Input Voltage, Adjustable, 3-Terminal, Linear Regulator [online]. In: . 2015, s. 1-16 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005399A.pdf>
- [8] MP157: Smallest Energy Efficient Off-line Regulator with Extended Power Range [online]. In: . 014, s. 1-19 [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <https://www.monolithicpower.com/DesktopModules/DocumentManage/API/Document/GetDocument?id=11>
- [9] Application Note AN-37 LinkSwitch-TN Family [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.eeworld.com.cn/zt/PowerIntegrations/pdf/an37.pdf>
- [10] Engineering Prototype Report for EP48 – 1.4 W Non-Isolated Buck Converter Using LNK304P(LinkSwitch®TN) [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Power%20Integrations%20PDFs/EPR-48.pdf>

- [11] Napájecí zdroje. In: SPŠE Mohelnice [online]. [cit. 2016-01-22]. Dostupné z: <http://www.spsemoh.cz/vyuka/zet/zdroje.htm>
- [12] Offline supply drives LEDs. In: EDN network [online]. 2011 [cit. 2016-02-27]. Dostupné z: <http://www.edn.com/design/power-management/4369648/Offline-supply-drives-LEDs>
- [13] Optimalizace spotřeby energie pomocí integrovaných spínačů napájení [online]. In: . [cit. 2016-02-17]. Dostupné z: http://pandatron.cz/?893&optimalizace_spotreby_energie_pomoci_integrovaných_spinacu_na_pajeni&mobile=
- [14] PIC12F629/675 [online]. 2003, s. 1-132 [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41190c.pdf>
- [15] Pohotovostní spotřeba energie. In: Úsporné spotřebiče [online]. [cit. 2015-11-09]. Dostupné z: <http://www.uspornespotrebice.cz/informace/spotreba-standby/>
- [16] TAJ Series: Standard Tantalum [online]. In: . s. 1-4 [cit. 2016-02-26]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/85f84849ee9dc6997647a15c8c95a9d3/taj.pdf>
- [17] SAMWHA. MINIATURE ALUMINUM ELECTROLYTIC CAPACITORS [online]. In: . [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/1f077573367de934bb02c08765c9e0fc/rd.pdf>
- [18] NICHICON. ALUMINUM ELECTROLYTIC CAPACITORS [online]. In: . [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/2278f336567863183f2300009e8bac3f/e-ulh.pdf>
- [19] MICROCHIP (SUPERTEX). SR086 [online]. In: . [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/SR086%20D080613.pdf>
- [20] VISHAY SILICONIX. IRFR9310 [online]. In: . [cit. 2016-02-27]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/7b8ea924810ae7811ce11b39d3df9cad/IRFR9310PBF.pdf>

9 Seznam příloh

A Zapojení s obvodem SR086

A.1 – Tabulka měření zatížení 3,3V větve.....	II
A.2 – Tabulka měření zatížení 12V větve.....	III
A.3 – Tabulka měření zatížení 3,3V a 12V větve.....	IV
A.4 – Foto výrobku s obvodem SR086.....	V
A.5 – Foto výrobku v krabičce KU68.....	VI
A.6 – Cena součástek.....	VII
A.7 – Soubory programu Eagle – schéma a DPS (přiloženo na CD)	
A.8 – Program pro μ P PIC12F675 (přiloženo na CD)	

B Zapojení LR8 a SR086

B.1 – Tabulka měření s obvodem LR8 a SR086.....	VIII
---	------

A.1 – Tabulka měření zatížení 3,3 V

Měření zatížení 3,3V větve								
Počet měření	$U_{VST}(V)$	$I_{VST}(mA)$	$P(W)$	$S(VA)$	$Q(var)$	$\cos\varphi$	φ	Charakter
1	239,42	0,945	0,2269	0,22694	0,0043	0,9998	1,1	Induktivní
2	239,16	1,312	0,2281	0,3136	0,2152	0,7274	43,3	Induktivní
3	239,49	1,789	0,2305	0,42845	0,3612	0,5380	57,5	Induktivní
4	239,15	2,083	0,2308	0,498	0,4413	0,4634	62,4	Induktivní
5	239,49	2,589	0,2344	0,6199	0,5739	0,3780	67,8	Induktivní
6	239,84	2,680	0,2355	0,6428	0,5981	0,3664	68,5	Induktivní
7	239,57	2,761	0,2357	0,6614	0,6180	0,3564	69,1	Kapacitní
8	239,2	3,543	0,2404	0,84745	0,8126	0,2836	73,5	Kapacitní
9	239,19	3,621	0,2408	0,86605	0,8319	0,2780	73,9	Kapacitní
10	239,02	3,681	0,2413	0,87975	0,8460	0,2744	74,1	Kapacitní
11	239,45	3,838	0,2438	0,91905	0,8861	0,2654	74,6	Kapacitní
12	239,56	3,905	0,2447	0,9354	0,9028	0,2616	74,8	Kapacitní
13	239,93	4,024	0,2466	0,96545	0,9334	0,2554	75,2	Kapacitní
14	239,6	4,089	0,2463	0,97975	0,9483	0,2514	75,4	Kapacitní
15	239,66	4,126	0,2467	0,98865	0,9574	0,2494	75,6	Kapacitní
16	239,57	4,167	0,2474	0,99835	0,9672	0,2478	75,7	Kapacitní
Počet	U_{3V3}	I_{3V3}	P_{3V3}	$\eta(%)$	U_{12V}	I_{12V}	P_{12V}	
1	3,273	0	0	–	11,94			
2	3,273	1,23	0,0040	1,3	11,98			
3	3,272	3,12	0,0102	2,4	11,98			
4	3,27	5,14	0,0168	3,4	11,92			
5	3,27	7,29	0,0238	3,8	11,94			
6	3,267	9,18	0,0299	4,7	11,86			
7	3,266	10,97	0,0358	5,4	11,78			
8	3,266	13,38	0,0436	5,2	11,97			
9	3,266	14,97	0,0488	5,6	11,94			
10	3,265	16,91	0,0552	6,3	11,89			
11	3,264	19,31	0,0630	6,9	11,84			
12	3,264	21,22	0,0692	7,4	11,8			
13	3,263	23,21	0,0757	7,8	11,76			
14	3,262	25,66	0,0837	8,5	11,71			
15	3,261	27,92	0,0911	9,2	11,67			
16	3,26	30,41	0,0991	9,9	11,61			

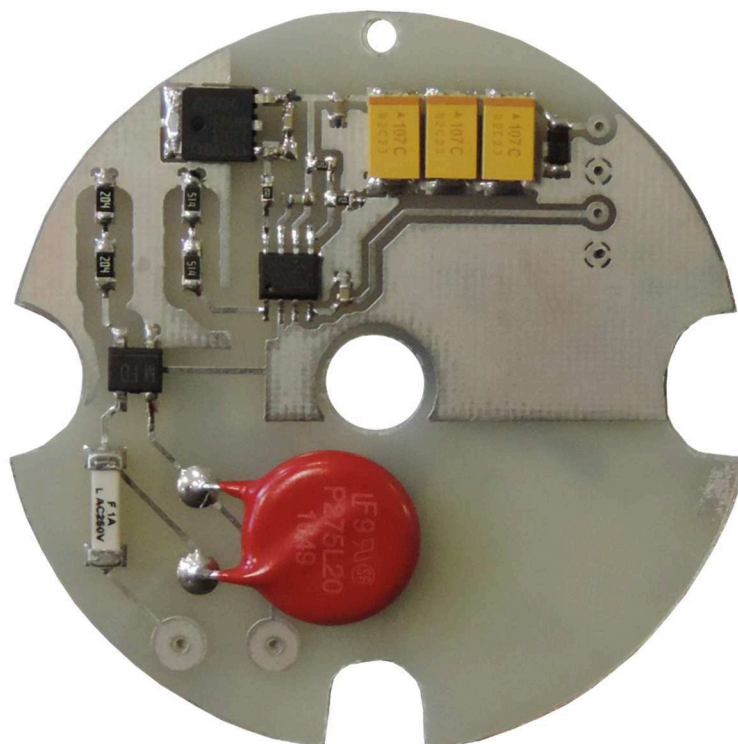
A.2 – Tabulka měření zatížení 12 V

Měření zatížení 12V větve								
Počet měření	U_{VST} (V)	I_{VST} (mA)	P (W)	S (VA)	Q (var)	$\cos\varphi$	φ	Charakter
1	239,42	0,945	0,2269	0,2270	0,0067	0,9998	1,1	Induktivní
1	239,67	1,112	0,2288	0,2664	0,1365	0,8588	30,8	Induktivní
2	239,6	1,814	0,23098	0,4346	0,3681	0,5312	57,9	Induktivní
3	240,07	2,130	0,2331	0,5112	0,4550	0,4560	62,9	Induktivní
4	239,4	2,547	0,2341	0,6096	0,5629	0,3840	67,4	Induktivní
5	239,06	2,681	0,2339	0,6408	0,5965	0,3650	68,6	Kapacitní
6	239,26	2,936	0,2358	0,7024	0,6616	0,3358	70,4	Kapacitní
7	239,06	3,543	0,2399	0,8464	0,8117	0,2834	73,5	Kapacitní
8	238,75	3,649	0,2403	0,8711	0,8373	0,2758	74,0	Kapacitní
9	238,69	3,739	0,2412	0,8925	0,8592	0,2702	74,3	Kapacitní
10	239,14	3,803	0,2423	0,9094	0,8765	0,2664	74,5	Kapacitní
11	238,95	3,882	0,243	0,9276	0,8952	0,2620	74,8	Kapacitní
12	238,89	3,949	0,2433	0,9432	0,9113	0,2580	75,0	Kapacitní
13	239,07	3,988	0,2438	0,9535	0,9218	0,2558	75,2	Kapacitní
14	239,59	4,078	0,2463	0,9770	0,9454	0,2520	75,4	Kapacitní
15	239,31	4,105	0,2466	0,9824	0,9509	0,2510	75,5	Kapacitní
16	239,5	4,220	0,2476	1,0106	0,9797	0,2450	75,8	Kapacitní
Počet	U_{3V3}	I_{3V3}	P_{3V3}		U_{12V}	I_{12V}	P_{12V}	η (%)
1	3,274				11,98	0	0	–
2	3,274				11,98	1,2	0,0144	5,4
3	3,273				11,98	3,15	0,0377	8,7
4	3,273				11,93	4,97	0,0593	11,6
5	3,273				11,95	7,1	0,0849	13,9
6	3,275				11,86	9,05	0,1073	16,8
7	3,272				11,83	11,07	0,1310	18,6
8	3,272				11,98	13,15	0,1575	18,6
9	3,272				11,93	15,1	0,1801	20,7
10	3,272				11,89	17,04	0,2026	22,7
11	3,271				11,85	19,04	0,2256	24,8
12	3,271				11,8	21,11	0,2491	26,9
13	3,271				11,75	23,17	0,2723	28,9
14	3,27				11,71	25,1	0,2939	30,8
15	3,27				11,67	27,08	0,3160	32,3
16	3,27				11,61	29,51	0,3426	34,9
17	3,27				11,58	31,31	0,36257	35,9

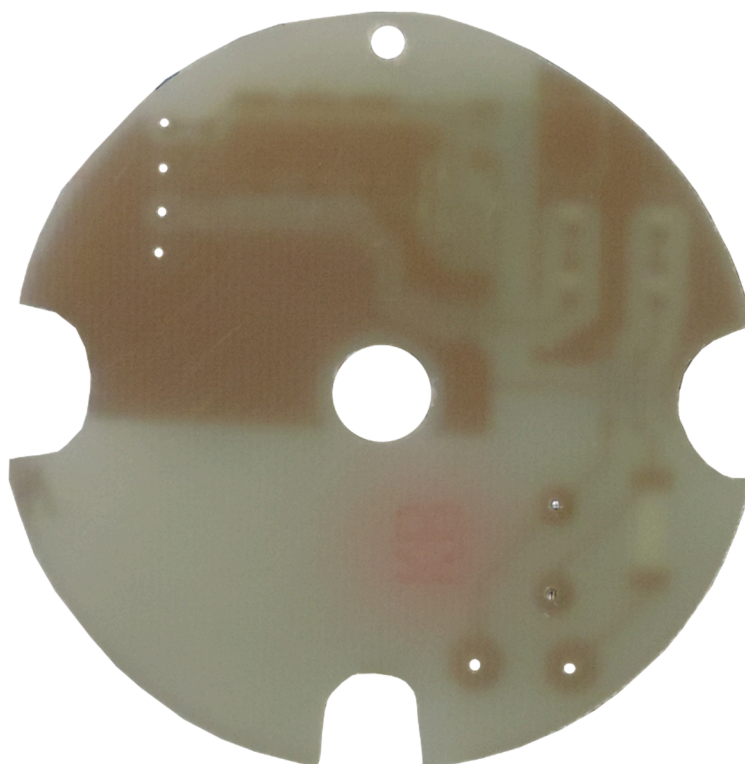
A.3 – Tabulka měření zatížení 3,3V a 12V větve

Počet měření	U_{VST} (V)	I_{VST} (mA)	P (W)	S (VA)	Q (var)	$\cos\varphi$	φ	Charakter
1	239,45	0,948	0,2267	0,2268	0,0067	0,9991	2,4	Induktivní
2	238,95	1,539	0,2295	0,3676	0,2872	0,6216	51,6	Induktivní
3	239,28	2,513	0,2234	0,6012	0,5581	0,3882	67,2	Induktivní
4	239,27	2,770	0,2352	0,6627	0,6195	0,3550	69,2	Kapacitní
5	239,07	3,635	0,2409	0,8689	0,8348	0,2772	73,9	Kapacitní
6	239,74	3,771	0,2436	0,9039	0,8705	0,2694	74,4	Kapacitní
7	239,7	3,901	0,2443	0,9351	0,9026	0,2614	74,8	Kapacitní
8	239,8	4,028	0,2461	0,9658	0,9339	0,2548	75,2	Kapacitní
9	239,4	4,143	0,2458	0,9917	0,9608	0,2478	75,7	Kapacitní
10	239,36	4,214	0,2473	1,0087	0,9779	0,2452	75,8	Kapacitní
11	239,22	4,300	0,248	1,0285	0,9982	0,2410	76,1	Kapacitní
12	239,63	4,424	0,2504	1,0600	1,0300	0,2362	76,3	Kapacitní
13	239,02	4,515	0,2505	1,0791	1,0496	0,2322	76,6	Kapacitní
14	239,28	4,581	0,2513	1,0961	1,0669	0,2292	76,8	Kapacitní
15	239,05	4,666	0,2518	1,1153	1,0865	0,2258	77,0	Kapacitní
16	239,05	4,690	0,2525	1,1211	1,0923	0,2252	77,0	Kapacitní
17	239,12	4,834	0,2543	1,1558	1,1275	0,2200	77,3	Kapacitní
Počet	U_{3V3}	I_{3V3}	P_{3V3}		U_{12V}	I_{12V}	P_{12V}	η (%)
1	3,273	0	0		11,93	0	0	–
2	3,271	1,23	0,0040		11,98	1,23	0,01474	2,6
3	3,27	3,2	0,0105		11,98	3,23	0,0387	5,6
4	3,27	5,22	0,0171		11,81	3,268	0,0386	6,4
5	3,268	7,35	0,024		11,94	7,3	0,0872	11,5
6	3,267	9,03	0,0295		11,87	90,8	1,0778	111,0
7	3,266	11,02	0,0360		11,78	10,99	0,1295	16,8
8	3,265	13,17	0,043		11,69	13,2	0,1543	19,9
9	3,264	15,12	0,0494		11,61	15,21	0,1766	22,6
10	3,262	17,1	0,0558		11,53	17,11	0,1972	25,3
11	3,262	19,01	0,0620		11,44	19,1	0,2185	27,9
12	3,26	21,17	0,0690		11,36	21,13	0,2400	30,5
13	3,259	23,07	0,0752		11,29	23,06	0,2603	33,0
14	3,258	25,02	0,0815		11,2	25,26	0,2829	35,7
15	3,257	26,99	0,0879		11,12	27,16	0,3020	38,1
16	3,256	28,94	0,0942		11,04	29,03	0,3205	40,5
17	3,255	31,18	0,1014		10,96	31,44	0,3446	43,2

A.4 – Fotografie výrobku SR086

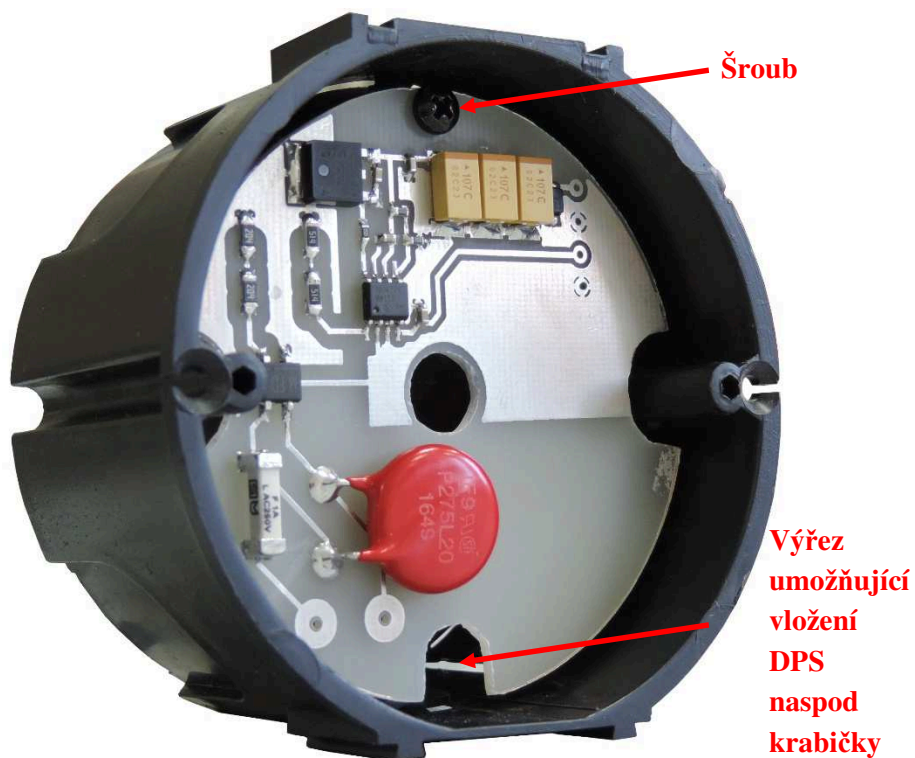


Fotografie osazení DPS strany TOP

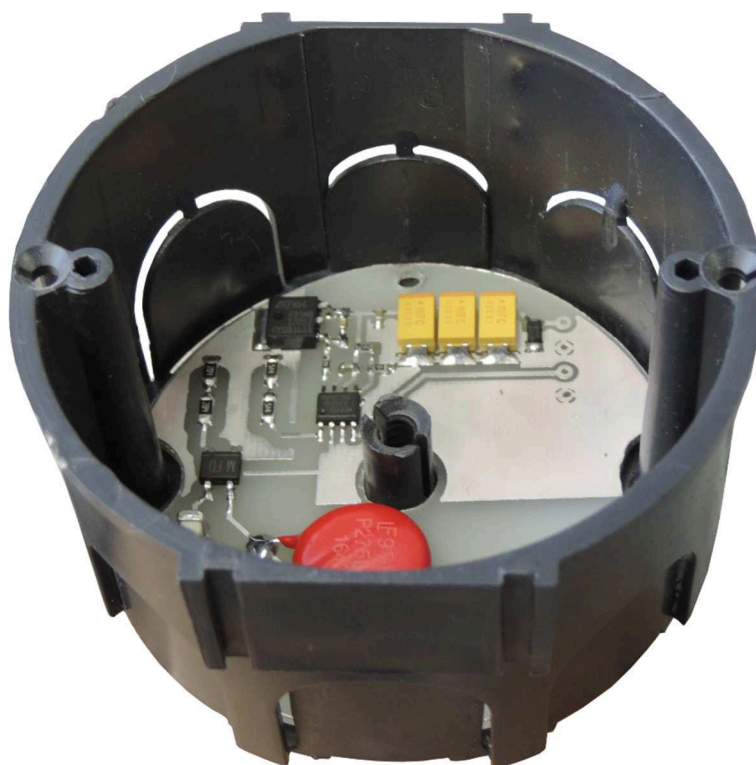


Fotografie DPS strany BOTTOM

A.5 – Fotografie výrobku SR086 v krabičce KU68



Montáž DPS do horní poloviny krabičky pomocí přišroubování



Navržená DPS umístěna naspod montážní krabičky

A.6 – Cena součástek

Hodnoty součástek	počet kusů na DPS	Lokace	Cena 1 kus	Minimální možný počet ks k objednání	Cena podle počtu použitých kusů na DPS	Cena při větším odběru	Nákupní balení	Cena při nákupech ve větších baleních
100nF,50V,0603	2	C3, C4	0,21 Kč	100+	0,42 Kč	0,09 Kč	4000+	0,18 Kč
100uF,16V TAJD107M016R	3	C6, C7, C8	9,13 Kč	5+	27,39 Kč	4,52 Kč	2000+	13,56 Kč
105K,0603	1	R6	0,25 Kč	100+	0,25 Kč	0,10 Kč	5000+	0,10 Kč
12,1K 0603	1	R5	0,26 Kč	10+	0,26 Kč	0,02 Kč	5000+	0,02 Kč
ZD 15V	1	D2	0,49 Kč	25+	0,49 Kč	0,32 Kč	3000+	0,32 Kč
1uF,50V,0603	1	C2	0,63 Kč	100+	0,63 Kč	0,29 Kč	4000+	0,29 Kč
200K,1206	2	R1, R2	0,23 Kč	10+	0,45 Kč	0,04 Kč	5000+	0,08 Kč
20K,0603	1	R8	0,15 Kč	100+	0,15 Kč	0,01 Kč	5000+	0,01 Kč
3405.0166	1	F1	14,75 Kč	1+	14,75 Kč	7,50 Kč	500+	7,50 Kč
390pF,50V,0603	1	C1	0,13 Kč	100+	0,13 Kč	0,03 Kč	4000+	0,03 Kč
510K,1206	2	R3, R4	0,24 Kč	10+	0,47 Kč	0,05 Kč	5000+	0,10 Kč
B72214S0271K101	1	RV1	5,76 Kč	5+	5,76 Kč	2,58 Kč	2000+	2,58 Kč
S500	1	DM1	2,96 Kč	5+	2,96 Kč	2,00 Kč	2500+	2,00 Kč
SR086	1	IC1	29,96 Kč	1+	29,96 Kč	22,66 Kč	100+	22,66 Kč
STGD5NB120SZT4	1	T1	28,00 Kč	1+	28,00 Kč	20,80 Kč	250+	20,80 Kč
Celková cena					112,07 Kč			70,24 Kč

B.1 – Tabulka měření s obvodem LR8 a SR086

Počet	$U_{VST}(V)$	I_{VST}	P	S	Q	$\cos \varphi$	φ	Charakter
1	240,22	1,7224	0,3673	0,4141	0,1912	0,887	27,5	Induktivní
2	240,15	2,5655	0,3797	0,6161	0,4851	0,6164	51,9	Induktivní
3	240,71	3,42	0,3982	0,8233	0,7205	0,4838	61,1	Induktivní
4	239,56	4,167	0,4158	0,9982	0,9075	0,4166	65,4	Induktivní
5	239,79	4,6925	0,4326	1,1252	1,0387	0,3844	67,4	Induktivní
6	239,65	5,562	0,4608	1,3330	1,2508	0,3458	69,8	Induktivní
7	239,45	5,7585	0,4696	1,3789	1,2964	0,3406	70,1	Induktivní
8	239,67	5,948	0,4797	1,4256	1,3425	0,3366	70,3	Induktivní
9	239,62	6,17	0,489	1,4765	1,3932	0,3312	70,7	Induktivní
10	239,76	6,3195	0,4994	1,5152	1,4305	0,3296	70,8	Induktivní
11	239,91	6,5335	0,5105	1,5676	1,4821	0,3256	71,0	Induktivní
12	239,84	6,683	0,519	1,6029	1,5165	0,3238	71,1	Induktivní
13	239,46	6,8805	0,529	1,6477	1,5604	0,321	71,3	Induktivní
14	239,75	7,1055	0,5431	1,7036	1,6147	0,3188	71,4	Induktivní
15	239,61	7,26	0,5535	1,7397	1,6492	0,3182	71,4	Induktivní
16	240,09	7,4945	0,5684	1,7994	1,7072	0,3158	71,6	Induktivní
17	239,62	7,625	0,5802	1,8271	1,7325	0,3176	71,5	Induktivní
	U_{3V3}	I_{3V3}	P_{3V3}		U_{12V}	I_{12V}	P_{12V}	η (%)
1	3,272	0	0,0000		12,05	0	0,0000	0,0
2	3,272	1,24	0,0041		12,04	1,21	0,0146	2,1
3	3,28	3,16	0,0104		12,01	3,22	0,0387	5,1
4	3,28	5,26	0,0173		11,95	5,18	0,0619	7,9
5	3,267	7,15	0,0234		11,92	7,16	0,0853	10,6
6	3,267	8,96	0,0293		12,02	9,18	0,1103	13,2
7	3,265	11,03	0,0360		11,96	11,05	0,1322	15,8
8	3,265	13,06	0,0426		11,89	13,02	0,1548	18,5
9	3,264	15,14	0,0494		11,83	15,09	0,1785	21,2
10	3,263	16,98	0,0554		11,76	17,39	0,2045	24,1
11	3,263	19,22	0,0627		11,7	19,18	0,2244	26,4
12	3,261	20,97	0,0684		11,64	21,21	0,2469	29,0
13	3,259	23,13	0,0754		11,58	23,17	0,2683	31,4
14	3,258	25,34	0,0826		11,51	25,46	0,2930	34,2
15	3,257	27,26	0,0888		11,46	27,4	0,3140	36,5
16	3,256	29,08	0,0947		11,41	29,2	0,3332	38,6
17	3,256	31,1	0,1013		11,36	31,14	0,3538	40,9